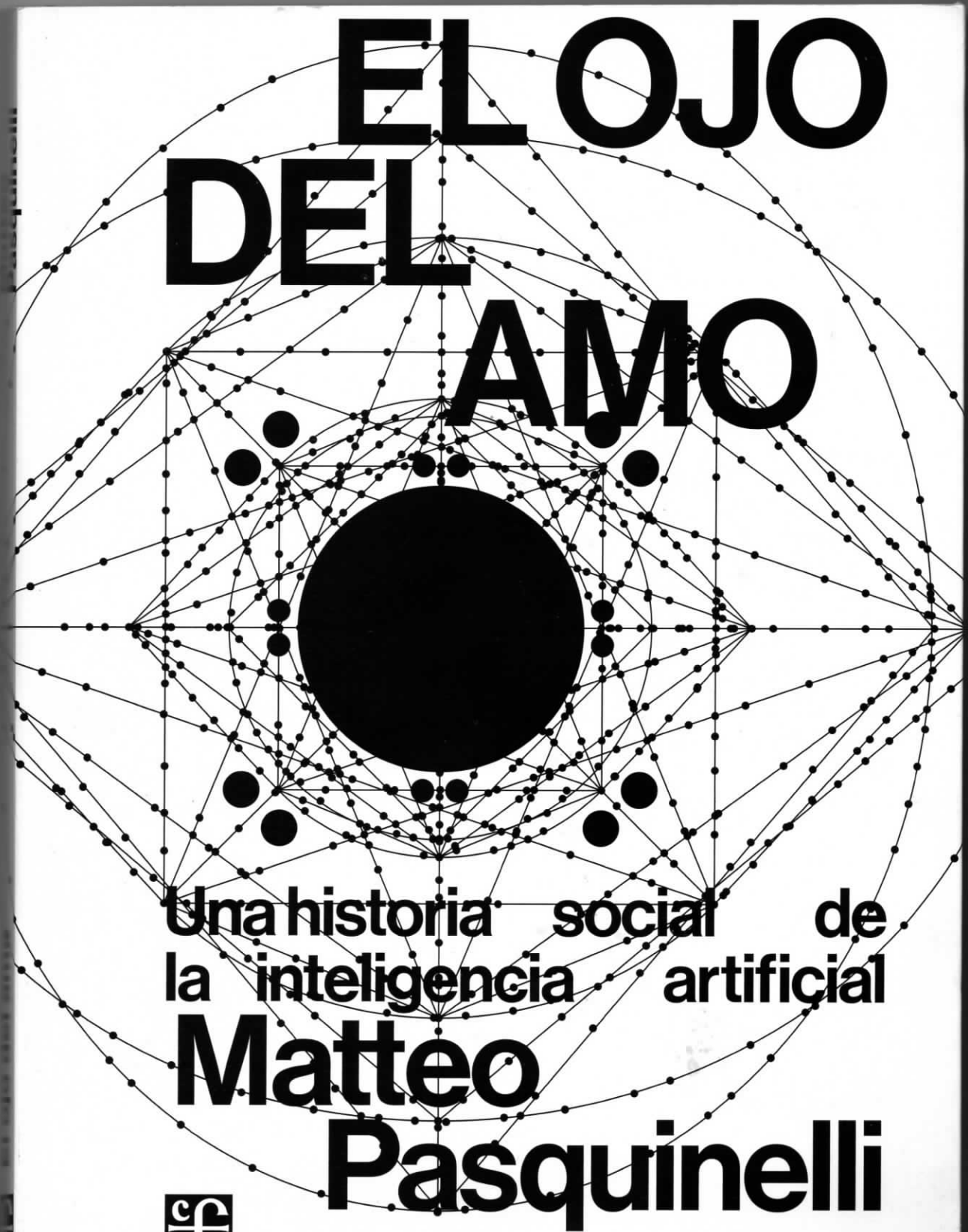
EL OJO DEL AMO



Una historia social de la inteligencia artificial

Matteo Pasquinelli

Traducción de María Marcela Alonso

Traducción
María Marcela Alonso

MATTEO PASQUINELLI

EL OJO DEL AMO

UNA HISTORIA SOCIAL DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL

FONDO DE CULTURA ECONÓMICA

Primera edición, FCE Chile, 2025

Pasquinelli, Matteo
El ojo del amo. Una historia social de la inteligencia artificial / Matteo Pasquinelli ; trad. de María Marcela Alonso. – Santiago de Chile : FCE, 2025
260 p. ; 23 × 16 cm – (Colec. Tezontle)
Título original: The Eye of the Master: A Social History of Artificial Intelligence
ISBN 978-956-289-389-3

1. Inteligencia artificial – Aspectos sociales – Historia 2. Automatización – Aspectos sociales – Historia 3. Maquinaria en el lugar de trabajo – Aspectos sociales – Historia 4. Trabajadores – Efectos de las innovaciones tecnológicas – Historia 5. Producción – Inteligencia artificial I. Alonso, María Marcela, tr. II. Ser. III. t.

LC HC79.A9 Dewey 338.064 P536o

Distribución mundial en lengua española

© 2023, Matteo Pasquinelli

© 2023, publicado originalmente por Verso Books
Título original: *The Eye of the Master: A Social History of Artificial Intelligence*

D.R. © 2025, Fondo de Cultura Económica Chile S. A.
Av. Paseo Bulnes 152, Santiago, Chile
www.fondodeculturaeconomica.cl

Fondo de Cultura Económica
Carretera Picacho-Ajusco, 227; 14110 Ciudad de México
www.fondodeculturaeconomica.com

De la traducción, © María Marcela Alonso, 2025
De la imagen de cubierta, © Eric Carter, 2023
Diagramación: Macarena Rojas Líbano

ISBN 978-956-289-389-3

Se prohíbe la reproducción total o parcial de esta obra —incluido el diseño tipográfico y de portada—, sea cual fuere el medio, electrónico o mecánico, sin el consentimiento por escrito de los editores.

Impreso en Chile • *Printed in Chile*

Índice

Introducción: La IA como división del trabajo 9

1. Las herramientas materiales del pensamiento algorítmico 29

PRIMERA PARTE
LA ERA INDUSTRIAL

2. Babbage y la mecanización del trabajo mental 57
3. La Cuestión de la Maquinaria 81
4. Los orígenes de la idea del "intelecto general" de Marx 99
5. La abstracción del trabajo 125

SEGUNDA PARTE
LA ERA DE LA INFORMACIÓN

6. La autoorganización de la mente cibernética 137
7. La automatización del reconocimiento de patrones 165
8. Hayek y la epistemología del conexionismo 185
9. La invención del Perceptrón 207

Conclusión: La automatización de la inteligencia artificial 239

Agradecimientos 255
Lista de ilustraciones 259

Introducción: La IAcomo división del trabajo

> La habilidad especial de cada individuo que opera una máquina, que ahora ha sido despojado de todo significado, se desvanece como una cantidad infinitesimal frente a la ciencia, las inmensas fuerzas naturales y la masa del trabajo social encarnado en el sistema de maquinaria, que, junto con estas tres fuerzas, constituye el poder del "amo".
>
> Karl Marx, *El capital*[1]

> Todos los seres humanos son intelectuales [...] a pesar de que podemos hablar de intelectuales, no podemos hablar de no intelectuales, porque no existen los no intelectuales [...]. No existe actividad humana de la cual pueda excluirse toda forma de participación intelectual: no se puede separar al Homo faber del Homo sapiens.
>
> Antonio Gramsci, *Cuadernos de la cárcel*

En el siglo XX, pocas personas habrían definido a un camionero como un "trabajador cognitivo", un intelectual. Sin embargo, a principios del siglo XXI, la utilización de la inteligencia artificial (IA) en los vehículos autónomos, entre otros dispositivos, cambió la percepción de las habilidades manuales, como la conducción, y reveló cómo el componente más valioso del trabajo en general nunca ha sido solo manual, sino que siempre ha sido también cognitivo y cooperativo. Gracias a la investigación sobre IA —debemos reconocerlo—, los camioneros llegaron al panteón de la intelectualidad. Es una paradoja —una amarga revelación política— que el desarrollo más entusiasta de la automatización haya demostrado cuánta "inteligencia" expresan actividades y trabajos que suelen

[1] Karl Marx, *A Critique of Political Economy*, vol. 1, trad. Ben Fowkes, London: Penguin, 1981, 549. Marx también observó: "El 'amo' también puede reaccionar de una manera diferente ante la amenaza de perder a su autómata 'viviente'" (ibid. 544).

considerarse manuales y no cualificados, un aspecto que a menudo ha sido soslayado tanto por las organizaciones sindicales como por la teoría crítica. A decir verdad, en la actual era digital, muy pocos sociólogos, como Richard Sennett, se tomaron la molestia de subrayar que "hacer es pensar", una dimensión que historiadores de la ciencia, como Lissa Roberts y Simon Schaffer, han captado en la elegante imagen de la "mano consciente", una mano que, tanto en el taller del Renacimiento como en los de la era industrial, no solo expresaba su fuerza muscular, sino que también inspiraba diseños, inventos y avances científicos.[2] El hecho de que hoy se niegue la inteligencia del trabajo manual y de las actividades sociales parece ser también un síntoma del crecimiento desmesurado de la esfera digital y de la desmaterialización de las actividades humanas, que contribuyeron al aura de misterio que, finalmente, se construyó en torno a la IA.

¿Qué es la IA? El punto de vista predominante la describe como la búsqueda "para desentrañar la inteligencia", una respuesta que, supuestamente, se encuentra en la lógica secreta de la mente o en la fisiología profunda del cerebro, como, por ejemplo, en sus complejas redes neuronales. Por el contrario, en este libro argumento que el código interno de la IA no está compuesto por la imitación de la inteligencia biológica, sino por la *inteligencia de las relaciones laborales y sociales*. En la actualidad, debería ser evidente que la IA es un proyecto para captar el conocimiento expresado a través de los comportamientos individuales y colectivos, y codificarlos en modelos algorítmicos para automatizar las tareas más diversas: desde el reconocimiento de imágenes y la manipulación de objetos hasta la traducción entre distintas lenguas y la toma de decisiones. Como en un efecto típico de la ideología, la "solución" al enigma de la IA está frente a nuestros ojos, pero nadie puede verla... ni nadie quiere verla.

Volvamos al controvertido proyecto de los vehículos autónomos. ¿Qué tipo de trabajo realiza el conductor? ¿Y hasta qué punto la IA puede automatizar esa actividad? Con un grado considerable de aproximación y riesgo, un vehículo autónomo está diseñado para imitar todas las microdecisiones que toma un conductor en una carretera transitada.[3] Sus redes neuronales artificiales "aprenden" las correlaciones entre la percepción visual del entorno y el control

[2] Richard Sennet, *The Craftsman*, New Haven, CT: Yale University Press, 2008; Lissa Roberts y Simon Schaffer (eds.), *The Mindful Hand: Inquiry and Invention from the Late Renaissance to Early Industrialisation*, Chicago: University of Chicago Press, 2007. En cuanto al papel que desempeña el tacto en la era digital, ver Rebekka Ladewig y Henning Schmidgen (eds.), *Body and Society* 28, N°s 1-2, edición especial, "Symmetries of Touch: Reconsidering Tactility in the Age of Ubiquitous Computing", 2012.

[3] A principios de la década de 1960, Romano Alquati definió "información" como las microdecisiones innovadoras que los trabajadores toman durante el proceso de producción (ver capítulo 5 de este libro). Ver también, Matteo Pasquinelli, "Italian Operaismo and the Information Machine", *Theory, Culture and Society* 32, N° 3, 2015: 49-68; Florian Sprenger, "Microdecisions and Autonomy in Self-Driving Cars: Virtual Probabilities", AI and Society, 2020: 1-16.

mecánico del vehículo (conducir, acelerar, frenar), junto con las decisiones éticas que deben tomarse en unos pocos milisegundos en caso de peligro. Conducir requiere elevadas capacidades cognitivas que no pueden quedar libradas a la improvisación, pero también rapidez para resolver problemas, que solo se logra gracias al hábito y al entrenamiento, que no son del todo conscientes. En esencia, conducir aún es una actividad social y cooperativa, que sigue reglas codificadas (con restricciones legales) y espontáneas, que incluyen un código cultural tácito que es diferente en cada localidad. Se considera difícil codificar una actividad tan compleja, e incluso el empresario Elon Musk ha admitido, después de varios accidentes fatales protagonizados por autos de Tesla, que "la autoconducción generalizada es un problema difícil".[4] Sin embargo, a pesar de todos los aspectos problemáticos, el proyecto industrial de los vehículos autónomos ha dejado en claro que la tarea de conducción no es meramente "mecánica". Si, en primer lugar, se puede traducir la capacidad de conducir a un modelo algorítmico, es porque conducir es una actividad lógica, ya que, en definitiva, *todo trabajo es lógica*.[5]

Entonces, ¿cuál es la relación entre trabajo, reglas y automatización, es decir, la invención de nuevas tecnologías? Este embrollo es el problema central de la IA que este libro pretende explorar. Pero no se trata de una perspectiva completamente nueva para enmarcar la IA. Por ejemplo, la historiadora de la ciencia Lorraine Daston ya ha descrito este problema en los grandes proyectos de cálculo de la Ilustración que precedieron al cómputo automático. A fines del siglo XVIII, con el objetivo de elaborar las largas tablas logarítmicas necesarias para la modernización de la Francia revolucionaria, el matemático Gaspard de Prony tuvo la idea de aplicar el método industrial de la división del trabajo (canonizado por Adam Smith en *La riqueza de las naciones*) al cálculo manual.[6] Con este fin, De Prony creó un *algoritmo social*, una organización jerárquica de tres grupos de oficinistas que se repartían el trabajo y cada uno realizaba una parte del extenso cálculo y, finalmente, componían los resultados finales. Unos años después, en la Inglaterra industrial, Charles Babbage adoptó la idea de la división del trabajo como el principio interno de la máquina diferencial y, de esa manera, diseñó el primer prototipo de la computadora moderna. Y lo que es más importante, Babbage comprendió que la división del

[4] Andrew J. Hawkins, "Elon Musk Just Now Realizing That Self-Driving Cars Are a 'Hard Problem'", theverge.com, 5 de julio de 2021.

[5] Ver también "A Manifesto", *Logic Magazine*, número 1, marzo de 2017.

[6] Lorraine Daston, "Calculation and the Division of Labor, 1750-1950", *Bulletin of the German Historical Institute* 62 (Primavera de 2018): 13.

trabajo no solo era un principio para diseñar máquinas, sino también para calcular los costos de producción (lo que desde entonces se conoce como el "principio de Babbage").

En la era industrial, quien supervisaba la división del trabajo era el dueño de la fábrica.[7] El ojo del amo, en las fábricas y también en los campos y plantaciones, durante largo tiempo supervisó y disciplinó trabajadores y diseñó los planos de las líneas de montaje, así como también los turnos de los trabajos forzados. Antes de que se inventaran las máquinas industriales, los talleres urbanos de explotación laboral y las haciendas coloniales ya se organizaban con un régimen "mecánico" de disciplina corporal y visualidad.[8] Como explicó el filósofo Michel Foucault, la imposición de esas técnicas disciplinarias —basadas en la segmentación del tiempo, el espacio y las relaciones— preparó el terreno para el régimen capitalista de explotación laboral.[9]

En paralelo, la visión racionalista del mundo ayudó a describir de manera más detallada el movimiento del cuerpo humano y a esbozar su mecanización. El historiador Sigfried Giedion detalló este proceso en su famoso libro *Mechanization Takes Command* [La mecanización toma el mando]. Según Giedion, la mecanización empieza "con el concepto de movimiento", después reemplaza la artesanía y, por último, alcanza su pleno desarrollo con "la línea de montaje, en la que toda la fábrica se consolida en un organismo sincrónico".[10]

Esta mentalidad mecánica culminó en el taylorismo, un sistema de "administración científica" que buscaba economizar los movimientos de los trabajadores hasta el más mínimo detalle. De hecho, como señaló en una ocasión el economista político Harry Braverman: "Taylor comprendió el principio de Babbage mejor que nadie en su época, y siempre fue lo más importante en sus

[7] Friedrich Engels cuestionó "el ojo del amo" y argumentó que en las grandes empresas e infraestructuras de la época, como las compañías ferroviarias, los trabajadores poseen un panorama más amplio del proceso de producción: "El desarrollo económico de la sociedad actual tiende a concentrarse cada vez más, a socializar la producción en establecimientos inmensos que ya no pueden ser manejados por un solo capitalista. Todas esas tonterías sobre "el ojo del amo", y las maravillas que hace, se convierten en un sinsentido cuando una empresa alcanza cierto tamaño. Imaginen el "ojo del amo" de los ferrocarriles de Londres y del Noroeste. Pero lo que el dueño no puede hacer, el trabajador, los empleados a sueldo de la empresa lo pueden hacer, y lo hacen muy bien. Por lo tanto, el capitalista ya no puede reclamar sus ganancias como 'salario de supervisión', porque no supervisa nada". Friedrich Engels, "Social Classes: Necessary and Superfluous", *Labour Standard*, 6 de agosto de 1881.

[8] Sobre el régimen de visualidad en la plantación de esclavos, ver Nicholas Mirzoeff, *The Right to Look: A Counterhistory of Visuality*, Durham, NC: Duke University Press, 2011.

[9] Michel Foucault, *Discipline and Punish: The Birth of the Prison*, New York: Pantheon Books, 1977.

[10] Sigfried Giedion, *Mechanization Takes Command: A Contribution to Anonymous History*, Oxford: Oxford University Press, 1948, 5.

cálculos".[11] Para supervisar hasta el más mínimo gesto de los trabajadores, el sistema taylorista llegó a adquirir ojos cinematográficos: el dueño de la fábrica se convertía en una especie de director de cine que filmaba a los trabajadores para medir y optimizar su productividad, y de algún modo se daba cuenta de lo que Jon Beller, crítico cultural, denominó el "modo cinemático de producción".[12] El taylorismo impulsó la disciplina del "estudio del tiempo y del movimiento" que, en esos mismos años, desarrollaron el revolucionario soviético Aleksei Gastev y los ingenieros estadounidenses Frank y Lillian Gilbreth, quienes introdujeron técnicas fotográficas similares, como el *ciclograma* y el *cronociclograma*, respectivamente.[13] Este libro sigue esos estudios analíticos del proceso laboral a lo largo de la era industrial hasta la aparición de la IA, con el objeto de mostrar cómo la "inteligencia" de la innovación tecnológica muchas veces se ha inspirado en la imitación de esos diagramas abstractos de la praxis humana y los comportamientos colectivos.

De hecho, cuando se inventaron máquinas industriales como telares y tornos, no fue gracias al genio solitario de un ingeniero, sino a través de la imitación del diagrama colectivo del trabajo: captando los patrones de los movimientos de las manos y las herramientas, la creatividad reprimida del conocimiento técnico de los trabajadores, y convirtiéndolos en artefactos mecánicos. Siguiendo esta teoría de la invención, que ya compartían Smith, Babbage y Marx en el siglo XIX, este libro argumenta que las máquinas "inteligentes" más sofisticadas también surgieron imitando el esquema de la división colectiva del trabajo. A lo largo de este libro, esta teoría del desarrollo tecnológico pasa a denominarse *teoría laboral de la automatización* o *teoría laboral de la máquina*, que posteriormente hago extensiva al estudio de la IA contemporánea y generalizo en una *teoría laboral de la inteligencia de las máquinas*.[14]

[11] Harry Braverman, *Labor and Monopoly Capital: The Degradation of Work in the Twentieth Century*, New York: Monthly Review Press, 1974, 117. Ver Frederick Winslow Taylor, *The Principles of Scientific Management*, New York: Harper & Brothers, 1911.

[12] Jonathan Beller, *The Cinematic Mode of Production: Attention Economy and the Society of the Spectacle*, Lebanon, IN: University Press of New England, 2006.

[13] Ver Charles S. Maier, "Between Taylorism and Technocracy: European Ideologies and the Vision of Industrial Productivity in the 1920s", *Journal of Contemporary History* 5, N° 2 (1970): 27-61; Rolf Hellebust, "Aleksei Gastev and the Metallization of the Revolutionary Body", *Slavic Review* 56, N° 3 (1997): 500-18; Ana Hedberg Olenina, *Psychomotor Aesthetics: Movement and Affect in Modern Literature and Film*, Oxford: Oxford University Press, 2020; Nicolás Salazar Sutil, *Motion and Representation: The Language of Human Movement*, Cambridge, MA: MIT Press, 2015; Elspeth Brown, *The Corporate Eye: Photography and the Rationalization of American Commercial Culture*, 1884-1929, Baltimore, MD: Johns Hopkins University Press, 2008; Daniel Nelson (ed.), *A Mental Revolution: Scientific Management Since Taylor*, Columbus, OH: Ohio State University Press, 1992.

[14] Las expresiones "teoría laboral de la automatización" y "teoría laboral de la máquina" se basan en teorías similares que se usan en economía política como, por ejemplo, la "teoría del valor-trabajo".

Para Marx, el amo ya no era un individuo, sino, como menciona el epígrafe de esta introducción, un poder integrado conformado por "la ciencia, las inmensas fuerzas naturales y la masa del trabajo social encarnado en el sistema de maquinaria". Después de la expansión de "la división del trabajo en la sociedad", como registró Émile Durkheim a fines del siglo XIX, el ojo del amo también evolucionó para convertirse en nuevas tecnologías de control, como la estadística y las "operaciones de capital" globales (para usar la oportuna frase de Sandro Mezzadra y Brett Neilson).[15] De este modo, desde fines del siglo XX, la gestión del trabajo ha convertido a toda la sociedad en una "fábrica digital" y ha adquirido la forma de los programas de buscadores, mapas *online*, aplicaciones de mensajería, redes sociales, plataformas de economía de pequeños encargos [*gig-economy*], servicios de movilidad y, fundamentalmente, algoritmos de IA, que se han estado usando cada vez más para automatizar todos los servicios antes mencionados.[16] En la actualidad, no es difícil entender la IA como un mecanismo de centralización de la sociedad digital y la organización de la división del trabajo.

La tesis de que el diseño de la computación y las "máquinas inteligentes" siguen el esquema de la división del trabajo no es herética, sino que recibe la confirmación de las teorías fundacionales de la informática, que han heredado un subtexto de fantasía colonial y división de clases de la era industrial. Por ejemplo, Alan Turing, el célebre genio de la computación automatizada, reiteró un modo de pensamiento jerárquico y autoritario. En una conferencia de 1947, Turing imaginó la Máquina de Computación Automática (Automatic Computing Engine, ACE), una de las primeras computadoras digitales, como un equipo centralizado que organizaba las operaciones según una jerarquía de roles de señor y servidor:

> A grandes rasgos, quienes trabajen en relación con la ACE se dividirán en señores y servidores. Los señores planificarán las tablas de instrucciones para ella e idearán maneras cada vez más profundas de usarla. Los servidores la alimentarán con tarjetas a medida que las vaya pidiendo. Se encargarán de reparar cualquier pieza que se estropee. Recopilarán los datos que requiera. De hecho, los servidores funcionarán como las extremidades del cuerpo. A medida que pase el tiempo, la propia calculadora se hará cargo tanto de las funciones de los señores como de las de los servidores. Los servidores serán reemplazados por miembros mecánicos y eléctricos y órganos sensoriales. Por ejemplo, se podrían proporcionar lectores de curvas para poder captar los datos directamente de las curvas en lugar de que las muchachas tengan que leer los valores y perforarlos en las tarjetas. Los señores corren el riesgo de ser reemplazados porque, en cuanto una técnica se convierte en un estereotipo, es posible concebir un sistema de tablas de instrucciones que permita a la computadora electrónica hacerlo por sí misma. Sin embargo, podría suceder que los señores se nieguen a hacerlo. Quizás no estén dispuestos a dejar que les roben el trabajo de esa manera. En ese caso, podrían rodear de misterio su trabajo y poner excusas, expresadas en una jerigonza muy bien redactada, cada vez que se haga alguna insinuación peligrosa. Creo que una reacción de este tipo es un peligro latente.[17]

La prosa del joven Turing, al dividir las tareas de computación entre los "señores", los "servidores" y las "muchachas" es implacable. Tiene reminiscencias de las descripciones góticas de Andrew Ure de la fábrica industrial en la era victoriana como "un inmenso autómata, compuesto por varios órganos mecánicos e intelectuales, que actúan de manera ininterrumpida para producir un objeto común, y todos ellos están subordinados a una fuerza motriz autorregulada".[18] Del mismo modo, Turing imaginó un autómata inteligente que, en el futuro, sería capaz de reprogramarse y reemplazar tanto a los señores como a los servidores. La visión de Turing se contradice hoy con el ejército de "trabajadores fantasma" del Sur global, que, como documentaron Mary Gray y Siddharth Suri, son ocultados para dejar que continúe el espectáculo de la autonomía de las máquinas.[19] De manera paradójica para Turing, la IA vino a reemplazar sobre todo a los señores, es decir a los administradores, más que a los servidores; los trabajadores son necesarios (y siempre lo serán) para producir datos y valor para los voraces procesos de la IA y sus monopolios globales y, por otro lado, hacer el mantenimiento de esa megamáquina en forma de filtro de contenido, verificaciones de seguridad, evaluación y optimización continua. Como señalaron Neda Atanasoski y Kalindi Vora, especialistas en estudios de género, los sueños

[15] Émile Durkheim, *The Division of Labor in Society*, New York: Free Press, 1984 [1893]; Sandro Mezzadra y Brett Neilson, *The Politics of Operations: Excavating Contemporary Capitalism*, Durham, NC: Duke University Press, 2019, 55.

[16] Ver Moritz Altenried, *The Digital Factory: The Human Labor of Automation*, Chicago: University of Chicago Press, 2021.

[17] Alan Turing, "Lecture on the Automatic Computing Engine", 1947, en *The Essential Turing*, ed. B. Jack Copeland, London: Clarendon Press, 2004, 392.

[18] Andrew Ure, *The Philosophy of Manufactures*, London: Charles Knight, 1835, 13-14.

[19] Mary Gray y Siddharth Suri, *Ghost Work: How to Stop Silicon Valley from Building a New Global Underclass*, New York: Houghton Mifflin Harcourt, 2019. Ver también Lilly Irani, "The Cultural Work of Microwork", *New Media and Society* 17, N° 5, 2013, 720-739; Lilly Irani y Michael Six Silberman, "Turkopticon: Interrupting Worker Invisibility in Amazon Mechanical Turk", Proceedings of CHI 2013, 28 de abril-2 de mayo de 2013.

de automatización e inteligencia artificial plenas como los de Turing no son neutrales, sino que se basan históricamente en la "humanidad sustituta" de los servidores, los proletarios y las mujeres esclavizados que hicieron posible, gracias a su trabajo invisible, el ideal universalista del sujeto libre y autónomo (blanco).[20]

Las múltiples historias de la IA

Escribir una historia de la IA en la coyuntura actual significa tener en consideración un gran constructo ideológico: en las filas de las empresas de Silicon Valley y también de las universidades de alta tecnología, la propaganda sobre la omnipotencia de la IA es la norma e incluso repite el folklore sobre máquinas que adquieren "inteligencia sobrehumana" y "conciencia de sí mismas". Un buen ejemplo de este folklore son las narrativas apocalípticas de *Terminator*, en las cuales los sistemas de IA adquieren singularidad tecnológica y presentan un "riesgo existencial" para la supervivencia de la especie humana en este planeta, como profesa el futurólogo Nick Bostrom, entre otros.[21] Las leyendas sobre la autonomía tecnológica y la inteligencia de las máquinas no es nada nuevo: existen desde la era industrial para mistificar el papel de los trabajadores y las clases subalternas.[22] Como observó Schaffer, al describir el culto al autómata en la época de Babbage: "Para que las máquinas parecieran inteligentes, era necesario hacer invisibles sus fuentes de energía, la mano de obra que las rodeaba y las hacía funcionar".[23]

Dejando de lado las narrativas especulativas, que nunca proporcionan detalles técnicos suficientes para aclarar qué tipo de algoritmos ejecutaría realmente la "superinteligencia", en la actualidad también nos encontramos con numerosas *historias técnicas* de la IA que, por otro lado, prometen explicar sus complejos algoritmos.[24] Estos resúmenes técnicos muchas veces expresan las expectativas empresariales acerca de un "algoritmo maestro" que resolvería todas las tareas de percepción y cognición según una prodigiosa tasa de compresión de datos (porque ese es el criterio de medición poco romántico que, en definitiva, se usa para evaluar sistemas "inteligentes").[25] Una vez más, esas interpretaciones pocas veces consideran los contextos históricos y las implicancias sociales de la automatización, y trazan una historia lineal de logros matemáticos que refuerza el determinismo tecnológico.[26] Dentro de esas historias técnicas de la IA, debemos incluir también la ciencia cognitiva, ya que una parte considerable de ese campo se desarrolló bajo la influencia de la informática. El monumental libro de Margaret Boden, *Mind as Machine* [Mente como máquina] (2006), en dos tomos, sigue siendo probablemente una de las historias más detalladas de la IA como ciencia cognitiva, y muestra la complejidad de esta genealogía, aunque sin fervor ideológico.

Frente a estas estrechas perspectivas técnicas, un número creciente de autores ha empezado a abordar las implicancias sociales de la IA desde el punto de vista de los trabajadores, las comunidades, las minorías y la sociedad en su conjunto. Estos autores cuestionan el virtuosismo de algoritmos que alegan ser "inteligentes" cuando en realidad amplifican las desigualdades, perpetúan los sesgos raciales y de género, y consolidan una nueva forma de extractivismo del conocimiento. Gracias a libros como *Weapons of Math Destruction* [Armas de destrucción matemática] (2016), de Cathy O'Neil; *Algorithms of Oppression* [Algoritmos de la opresión] (2018), de Safiya Noble; *Race after Technology* [Razay tecnología] (2019), de Ruha Benjamin, y *Discriminating Data* [Discriminación de datos] (2021), de Wendy Chun, entre muchos otros, se está ampliando el nuevo campo de los estudios críticos sobre la IA.[27] Estos novedosos trabajos

[20] Neda Atanasoski y Vora Kalindi, *Surrogate Humanity: Race, Robots, and the Politics of Technological Futures*, Durham, NC: Duke University Press, 2019.

[21] Nick Bostrom, *Superintelligence: Paths, Dangers, Strategies*, Oxford: Oxford University Press, 2014.

[22] Simon Schaffer, "Babbage's Dancer and the Impresarios of Mechanism", en *Cultural Babbage: Technology, Time and Invention*, ed. Francis Spufford y Jenny Uglow, London: Faber & Faber, 1996; Simon Schaffer, "Enlightened Automata", en *The Sciences in Enlightened Europe*, ed. William Clark, Jan Golinski y Simon Schaffer, Chicago: University of Chicago Press, 1999; Elly Rachel Truitt, *Medieval Robots: Mechanism, Magic, Nature, and Art*, Philadelphia: University of Pennsylvania Press, 2015; Adelheid Voskuhl, *Androids in the Enlightenment: Mechanics, Artisans, and Cultures of the Self*, Chicago: University of Chicago Press, 2013.

[23] Simon Schaffer, "Babbage's Intelligence: Calculating Engines and the Factory System", *Critical Inquiry* 21, N° 1, 1994: 204. Ver también Bernard Geoghegan, "Orientalism and Informatics: The Alterity in Artificial Intelligence, from the Chess-Playing Turk to Amazon's Mechanical Turk", *Ex-Position* 43, junio de 2020: 45-90.

[24] Ver, por ejemplo, Nils Nilsson, *The Quest for Artificial Intelligence: A History of Ideas and Achievements*, Cambridge: Cambridge University Press, 2010.

[25] Para ver un ejemplo de las intenciones ocultas de las corporaciones, consultar Pedro Domingos, *The Master Algorithm: How the Quest for the Ultimate Learning Machine Will Remake Our World*, London: Penguin, 2017.

[26] Sobre la idea de la tecnología autónoma, ver el clásico de Langdon Winner, *Autonomous Technology: Technics-Out-of-Control as a Theme in Political Thought*, Cambridge, MA: MIT Press, 1977.

[27] Cathy O'Neil, *Weapons of Math Destruction: How Big Data Increases Inequality and Threatens Democracy*, New York: Crown Publishers, 2016; Safiya Umoja Noble, *Algorithms of Oppression: How Search Engines Reinforce Racism*, New York: New York University Press, 2018; Ruha Benjamin, Race after Technology: *Abolitionist Tools for the New Jim Code*, Cambridge: Polity, 2019; Wendy Hui Kyong Chun, *Discriminating Data: Correlation, Neighborhoods, and the New Politics of Recognition*, Cambridge, MA: MIT Press, 2021. Los estudios sobre la IA no se expanden sin complicaciones internas. Yarden Katz señaló cómo a veces "los expertos críticos de la IA utilizan su posición para reforzar la supremacía blanca con un rostro progresista [...] apropiándose del lenguaje de los movimientos sociales radicales". Yarden Katz, *Artificial Whiteness*, New York: Columbia University Press, 2020, 128.

académicos se basan en investigaciones más antiguas sobre IA, cibernética y la lógica de la Guerra Fría de décadas previas, entre las cuales podemos incluir *Artificial Knowing* [Conocimiento artificial] (1998), de Alison Adam; *Computation and Human Experience* [Computación y experiencia humana] (1997), de Philip Agre; *The Closed World* [El mundo cerrado] (1996), de Paul Edwards; *Computer Power and Human Reason* [El poder de las computadoras y la razón humana] (1976), de Joseph Weizenbaum, y el artículo de Hubert Dreyfus para Rand Corporation "Alchemy and Artificial Intelligence" [Alquimia e inteligencia artificial] (1965), que por lo general se considera como la primera crítica filosófica de la IA.[28]

Dentro del panorama de los trabajos críticos, que está en franca expansión, este libro se ocupa de describir la genealogía social de la IA y, lo que es más importante, el punto de vista —las clases sociales— desde el cual se ha abordado la IA como una visión del mundo y una epistemología. En el siglo pasado, distintos grupos sociales y configuraciones de poder han dado forma a la tecnología informática y la IA. Más que sobre "hombros de gigantes", como expresa el dicho, podría decirse que los primeros paradigmas del pensamiento mecánico y la reciente inteligencia de las máquinas han ido desarrollándose, en diferentes formas y épocas, "sobre los hombros" de comerciantes, soldados, comandantes, burócratas, espías, industrialistas, administradores y trabajadores.[29] En todas estas genealogías, la automatización del trabajo fue un factor clave, pero, a menudo, ese aspecto es inadvertido por una historiografía de la tecnología que privilegia el punto de vista de la ciencia "desde arriba".

Por ejemplo, un abordaje común vincula de manera muy determinista el surgimiento de la cibernética, la computación digital y la IA con la abundante financiación de las fuerzas armadas estadounidenses durante la Segunda Guerra Mundial y el período de la Guerra Fría.[30] Sin embargo, estudios recientes han demostrado que el archipiélago de esa "lógica bélica" era inestable y cultivó paradigmas como la teoría de los juegos y la programación lineal que también fueron claves para modelizar la carrera armamentista y la logística militar.[31] En

[28] Sobre un resumen sistemático de los estudios críticos sobre la IA, ver: Universidad de Cambridge, Departamento de Historia y Filosofía de la Ciencia, Seminario Mellon Sawyer "Histories of AI: A Genealogy of Power", mayo de 2020-julio de 2021, ai.hps.cam.ac.uk.

[29] Ver Richard Hadden, *On the Shoulders of Merchants: Exchange and the Mathematical Conception of Nature in Early Modern Europe*, Albany, NY: State University of New York Press, 1994.

[30] Sobre el "a priori militar" en la historia de la computación, ver Winthrop-Young, "Drill and Distraction in the Yellow Submarine: On the Dominance of War in Friedrich Kittler's Media Theory", *Critical Inquiry* 28, N° 4, 2002: 825-54.

[31] Ver Paul Erickson *et al.*, *How Reason Almost Lost Its Mind: The Strange Career of Cold War Rationality*, Chicago: University of Chicago Press, 2013.

todo caso, la influencia de los aparatos estatales sobre las tecnologías de la información empezó mucho antes de la aceleración militar de la Segunda Guerra Mundial: la automatización de la recuperación de información y el análisis estadístico se remonta a la necesidad de mecanizar la burocracia pública y el trabajo gubernamental, por lo menos desde el censo estadounidense de 1890, que introdujo la máquina Hollerith para procesar tarjetas perforadas. La "máquina gubernamental" (como la denominó Jon Agar) anticipó la aparición de los grandes centros de datos de la era digital, que, como ya es notorio, no solo han sido el negocio de las compañías de internet, sino también de las agencias de inteligencia, como detallaron el matemático Chris Wiggins y el historiador Matthew L. Jones.[32] En resumen, durante más de cien años, siempre ha sido la acumulación de "macrodatos" sobre la sociedad y sus comportamientos lo que impulsó el desarrollo de las tecnologías de la información, desde el tabulador de Hollerith hasta el propio aprendizaje automático.[33]

En síntesis, la IA representa la continuidad de las técnicas de análisis de datos apoyadas primero por las oficinas estatales, cultivadas en secreto por las agencias de inteligencia y consolidadas, finalmente, por las empresas de internet en un negocio planetario de vigilancia y predicción. Sin embargo, esta interpretación es, una vez más, una historia "desde arriba" que se enfoca solamente en las técnicas de control y muy pocas veces en los sujetos sobre los cuales se ejerce ese control. Por lo general, no se describen los objetivos de este poder (o "capitalismo de la vigilancia", según la definición de Shoshana Zuboff) como actores que poseen autonomía e "inteligencia" propia, sino como sujetos pasivos de medición y control. Se trata de un problema de la teoría crítica en general y de los estudios críticos sobre la IA en particular: a pesar de que estos estudios se ocupan del impacto de la IA en la sociedad, a menudo pasan por alto el papel del conocimiento y el trabajo colectivos como la fuente principal de la misma "inteligencia" que la IA viene a extraer, codificar y mercantilizar. Además, estos estudios no logran ver la contribución de las formas y las fuerzas sociales para las etapas clave de la invención y el desarrollo tecnológicos. Una verdadera intervención crítica debería cuestionar esa posición hegemónica de la IA como el único "amo" de la inteligencia colectiva. Alguna vez, el filósofo italiano Antonio Gramsci argumentó en contra de las jerarquías de la educación diciendo que "todos los seres humanos son intelectuales": de

[32] Jon Agar, *The Government Machine: A Revolutionary History of the Computer*, Cambridge, MA: MIT Press, 2003; ver Chris Wiggins and Matthew L. Jones, *How Data Happened: A History from the Age of Reason to the Age of Algorithms*, New York: W. W. Norton, 2023.

[33] Ver Yarden Katz, "Manufacturing an Artificial Intelligence Revolution", *SSRN Electronic Journal* (noviembre de 2017).

manera similar, este libro intenta redescubrir la centralidad de la inteligencia social que informa y empodera a la IA. También sostiene —en una tesis más radical— que esa inteligencia social moldea desde dentro el propio diseño de los algoritmos de la IA.

La intención de este libro es incursionar tanto en la historia técnica como en la historia social de la IA, e integrar ambos enfoques en una historia sociotécnica que pueda identificar también los factores económicos y políticos que influyeron en su lógica interna. En lugar de alinearse con un constructivismo social convencional e ir más allá de las ideas pioneras de la informática social, intenta hacer extensivo el método de la epistemología histórica al campo de la IA, propagado en la historia de la ciencia, de una manera diferente, por Boris Hessen, Henryk Grossmann, Georges Canguilhem y Gaston Bachelard, y más recientemente por el trabajo del Instituto Max Planck para la Historia de la Ciencia en Berlín, entre otras iniciativas.[34] Mientras que el constructivismo social hace hincapié genéricamente en la influencia de factores externos sobre la ciencia y la tecnología, la epistemología histórica se ocupa del despliegue dialéctico de la praxis social, los instrumentos de trabajo y las abstracciones científicas dentro de una dinámica económica global. Este libro intenta estudiar la IA y el *pensamiento algorítmico* de manera similar a como la epistemología histórica y política ha estudiado, en la era moderna, el surgimiento del *pensamiento mecánico* y las abstracciones científicas en relación con el desarrollo socioeconómico.[35]

En este sentido, durante las décadas pasadas, algunas teóricas feministas como Hilary Rose, Sandra Harding, Evelyn Fox Keller y Silvia Federici, entre otras, se han dedicado con pasión a la *epistemología política* de la ciencia y la tecnología. Estas autoras explicaron de manera convincente el surgimiento de la racionalidad moderna y el pensamiento mecánico (al que también pertenece la IA) en relación con la transformación del cuerpo de la mujer, y del cuerpo colectivo en general, en una máquina dócil y productiva.[36] En las tradiciones de la epistemología política, también debemos considerar el análisis de los procesos de trabajo que se inició con *Labor and Monopoly Capital* [Trabajo y capital monopolista] (1974), de Braverman, y las encuestas obreras del *operaísmo* italiano, que, por ejemplo, Romano Alquati llevó a cabo en la fábrica de computadoras Olivetti en Ivrea a principios de la década de 1960.[37] Braverman y Alquati fueron pioneros con influyentes trabajos que mostraron por primera vez cómo los proyectos de computación automatizada de Babbage en el siglo XIX, así como la cibernética en el XX, estaban intrínsecamente relacionados con la esfera del trabajo y su organización.

La automatización de la cognición como reconocimiento de patrones

Trasladar un proceso de trabajo a un procedimiento lógico y luego a un artefacto técnico, pocas veces es algo directo e impecable; por el contrario, a menudo muestra un carácter espurio y experimental. En este sentido, el título *El ojo del amo* no solo contiene una analogía política, sino también técnica. Señala, con cierta ironía, la ambivalencia del paradigma actual de la IA —el aprendizaje profundo—, que no surgió de teorías de la cognición, como algunos pueden creer, sino de experimentos controvertidos para automatizar el trabajo de la percepción o el reconocimiento de patrones.[38] El aprendizaje profundo ha evolucionado a partir de la extensión de las técnicas de la década de 1950 de reconocimiento de patrones visuales a datos no visuales, que ahora incluyen texto, audio, video y datos de comportamiento de los orígenes más diversos. El surgimiento del aprendizaje profundo se remonta a 2012, cuando la red neuronal convolucional AlexNet ganó el concurso ImageNet de visión por computadora. Desde entonces, el término "IA" pasó a definir por convención el paradigma de las redes neuronales artificiales que, en la década de 1950, cabe señalar, era en realidad su rival (un ejemplo de las controversias que

[34] Sobre una crítica del constructivismo social, ver Langdon Winner, "Upon Opening the Black Box and Finding It Empty: Social Constructivism and the Philosophy of Technology", *Science, Technology, and Human Values* 18, N° 3, 1993: 362-78. Sobre un resumen de la epistemología histórica, ver Jürgen Renn, *The Evolution of Knowledge: Rethinking Science for the Anthropocene*, Princeton, NJ: Princeton University Press, 2020; Pietro Daniel Omodeo, *Political Epistemology: The Problem of Ideology in Science Studies*, Berlin: Springer, 2019; Henning Schmidgen, "History of Science", en *The Routledge Companion to Literature and Science*, ed. Bruce Clarke y Manuela Rossini, London: Routledge, 2011.

[35] Ver Peter Damerow *et al.*, *Exploring the Limits of Preclassical Mechanics: A Study of Conceptual Development in Early Modern Science*, 2nd ed., New York: Springer, 2004; Matthias Schemmel, *Historical Epistemology of Space: From Primate Cognition to Spacetime Physics*, New York: Springer, 2015. Sobre la noción de número, ver el capítulo 1 de este libro.

[36] Hilary Rose y Steven Rose (eds.), *The Radicalisation of Science*, London: Macmillan, 1976; Sandra Harding, *The Science Question in Feminism*, Ithaca, NY: Cornell University Press, 1986; Evelyn Fox Keller, *Reflections on Gender and Science*, New Haven, CT: Yale University Press, 1985; Silvia Federici, *Caliban and the Witch: Women, the Body, and Primitive Accumulation*, New York: Autonomedia, 2004.

[37] Ver capítulo 5. Sobre un enfoque novedoso de la encuesta obrera, ver Jamie Woodcock, "Towards a Digital Workerism: Workers' Inquiry, Methods, and Technologies", *Nanoethics* 15 (2021): 87-98.

[38] "Amo" y "patrón" [*pattern*] comparten una etimología política común. El término en inglés "*pattern*" viene del francés *patron* y del latín *patronus*. Ambos tienen la misma raíz que las palabras inglesas "*paternal*" y "*father*", que es la palabra latina pater. En latín, *patronus* también significa protector, también en relación con los servidores. La palabra francesa *patron* significa líder, jefe o cabeza de una comunidad, que, en contextos patriarcales, implica un modelo a seguir.

caracterizan la "racionalidad" de la IA).[39] Stuart y Hubert Dreyfus describieron este cisma en su ensayo de 1988 "Making a Mind versus Modeling the Brain" [Crear una mente versus crear un modelo del cerebro], en el cual esbozaron los dos modelos de la IA —el simbólico y el conexionista— que, basados en diferentes postulados lógicos, también han seguido diferentes caminos.[40]

La IA simbólica es el modelo que está asociado con la Conferencia de Dartmouth organizada en 1956 por John McCarthy para la cual acuñó el cuestionable término "inteligencia artificial".[41] Sus aplicaciones clave han sido los programas Logic Theorist [Teórico de la lógica] y General Problem Solver [Solucionador general de problemas] —y el conjunto de sistemas expertos y motores de inferencia en general— que resultaron triviales y propensos a la explosión combinatoria. Por el otro lado, el conexionismo es el modelo de redes neuronales artificiales iniciado en 1957 con el "Perceptrón", inventado por Frank Rosenblatt, que derivó en las redes neuronales convolucionales a fines de la década de 1980 y, finalmente, impulsó la arquitectura del aprendizaje profundo que predominó desde la década de 2010.

Los dos modelos siguen distintos tipos de lógica y epistemología. El primero sostiene que la inteligencia es una representación del mundo (*saber-eso* o conocimiento declarativo) que puede formalizarse en proposiciones y, por lo tanto, mecanizarse siguiendo la *lógica deductiva*. El segundo, en cambio, sostiene que la inteligencia es experiencia del mundo (*saber-hacer* o conocimiento procedimental) que puede implementarse con modelos aproximados construidos según la *lógica inductiva*. Con el debido respeto a la propaganda corporativa y a las filosofías computacionales de la mente, ninguno de estos dos paradigmas ha conseguido imitar plenamente la inteligencia humana. Sin embargo, el aprendizaje automático y las redes neuronales artificiales profundas, debido a su resolución al procesar datos multidimensionales, han demostrado ser muy exitosos en las técnicas de reconocimiento de patrones y, por lo tanto, en la automatización de diversas tareas. Contrariamente a la tradición que repite la excesivamente celebrada saga de la Conferencia de Dartmouth, este libro

[39] AlexNet fue una red neuronal convolucional, bautizada en honor de Alex Krizhevsky, alumno de Geoffrey Hinton. Por convención, el siguiente artículo marca el comienzo de la era del aprendizaje profundo: Alex Krizhevsky, Ilya Sutskever y Geoffrey Hinton, "Imagenet Classification with Deep Convolutional Neural Networks", *Advances in Neural Information Processing Systems* 25 (2012): 1097-1105. Ver también Dominique Cardon, Jean-Philippe Cointet y Antoine Mazières, "Neurons Spike Back: The Invention of Inductive Machines and the Artificial Intelligence Controversy", trad. Elizabeth Libbrecht, Réseaux 211, N° 5, 2018: 173-220.

[40] Hubert Dreyfus y Stuart Dreyfus, "Making a Mind versus Modeling the Brain: Artificial Intelligence Back at a Branchpoint", *Daedalus* 117, N° 1, 1988: 15-43.

[41] John McCarthy *et al.*, "A Proposal for the Dartmouth Summer Research Project on Artificial Intelligence", 31 de agosto de 1955, reimpreso en *AI Magazine* 27, N° 4, 2006.

destaca los orígenes de las redes neuronales artificiales, el conexionismo y el aprendizaje automático como una historia más convincente de la IA sobre la cual, especialmente en lo que respecta a la obra de Rosenblatt, aún falta literatura crítica y exhaustiva.

La estructura del libro

El presente libro se divide en tres secciones: un primer capítulo metodológico e introductorio y dos partes históricas, sobre la era industrial y la era de la información, respectivamente. Sin embargo, este libro no traza una historia lineal de la tecnología y la automatización; cada capítulo puede leerse como una "conferencia" independiente sobre el estudio de las prácticas algorítmicas y la inteligencia de las máquinas.

El capítulo 1 parte de la necesidad de aclarar la idea central de la computación: el algoritmo. ¿Qué es un algoritmo? En informática es posible definirlo como un procedimiento finito de instrucciones paso a paso para convertir los valores de entrada [*input*] en un resultado [*output*], usando de la mejor manera los recursos dados. El capítulo cuestiona esta definición puramente técnica de algoritmo y aboga por una crítica materialista que podría reconocer sus raíces económicas y sociales. Al fin y al cabo, al igual que otras ideas abstractas, como número o mecanismo, el algoritmo tiene una larga historia; el matemático Jean-Luc Chabert considera que "los algoritmos existen desde el principio de los tiempos y existían mucho antes de que se acuñara una palabra especial para describirlos".[42] Excavando en la matemática social del Agnicayana, un antiguo ritual hindú, el capítulo sostiene que la práctica y el pensamiento algorítmicos pertenecieron a todas las civilizaciones, no solo al metalenguaje de la informática occidental. En contra del intuicionismo matemático y filosófico, que cree en la independencia total de los constructos mentales, el capítulo hace hincapié en que el pensamiento algorítmico surgió como una *abstracción material*, a través de la interacción de la mente con las herramientas, para cambiar el mundo y resolver la mayoría de los problemas económicos y sociales. Deliberadamente mordaz, la tesis principal de este capítulo es que *el trabajo es el primer algoritmo*.

Los dos partes principales del libro intentan estudiar la inteligencia de las máquinas en dos épocas históricas, señalando el desarrollo paralelo de problemáticas similares. La primera parte se ocupa del trabajo como fuente de

[42] Jean-Luc Chabert (ed.), *A History of Algorithms: From the Pebble to the Microchip*, Berlin: Springer, 1999, 1.

conocimiento y de la *automatización del trabajo mental* durante la era industrial en el Reino Unido. Por lo general, se estudia ese momento histórico desde la perspectiva del trabajo manual, la acumulación de capital y la energía fósil, pero pocas veces examina sus componentes cognitivos. Por otro lado, la segunda parte analiza el surgimiento del conexionismo (la doctrina de las redes neuronales artificiales) en los círculos cibernéticos de Estados Unidos, entre las décadas de 1940 y 1960. Las redes neuronales artificiales surgieron del proyecto de la *automatización del trabajo visual* (más conocido como reconocimiento de patrones), que es distinto del trabajo manual y mental. Sostengo que es necesario el estudio del papel del conocimiento, el trabajo mental y la ciencia en el siglo XIX para entender la historia de la automatización que preparó el surgimiento de la IA en el siglo XX. Bajo títulos diferentes, las dos partes del libro tratan el mismo problema: la relación entre las formas de la innovación tecnológica y la organización social. Como ya explicaron algunos historiadores de la ciencia, entre estos Daston y Schaffer, es más fácil encontrar la fuerza impulsora de la computación moderna en los talleres de la era industrial que en los libros de matemática o filosofía natural de la época. En este sentido, el capítulo 2 repasa los experimentos pioneros de Babbage en computación automatizada —la máquina diferencial y la analítica— y se concentra en su matriz económica y evita la habitual biografía elogiosa de las máquinas. Para entender el diseño de estas primeras computadoras (y su variante de "inteligencia de las máquinas"), el capítulo explica dos de los principios de Babbage para analizar el trabajo. Su primer principio analítico, la *teoría laboral de la máquina*, determina que el diseño de una máquina imita y reemplaza el diagrama de una división previa del trabajo. El segundo, el *principio de cálculo del trabajo* (generalmente conocido como "el principio de Babbage"), establece que la división del trabajo en tareas más pequeñas hace posible medir y comprar la cantidad exacta de trabajo necesaria para la producción. Estos dos principios combinados describen la máquina industrial no solo como medio para incrementar el trabajo sino también como un *instrumento* (y *criterios de medición* implícitos) para medirlo. Babbage aplicó ambos principios a la automatización del cálculo manual; por lo tanto, la computación no solo surgió como la automatización del trabajo mental sino también como criterio de medición para el cálculo de su costo.

Más allá de las habituales interpretaciones "termodinámicas" del trabajo manual, el capítulo 3 señala que, en la era industrial, ya se elaboraron ideas sofisticadas de trabajo mental, inteligencia colectiva y alienación del conocimiento. Examina la circulación de ideas entre la gestación de la economía política decimonónica y el movimiento del Instituto de Mecánica, entre la campaña de la Marcha del Intelecto y la Cuestión de la Maquinaria (un debate que animó

a la sociedad inglesa sobre el desempleo tecnológico). El capítulo expande, desde ángulos opuestos, las reflexiones previas sobre los principios de Babbage para el análisis del trabajo y la invención. Por otro lado, muestra que, mucho antes de que los teóricos de la sociedad del conocimiento del siglo XX, los socialistas ricardianos, como William Thompson y Thomas Hodgskin, ya proponían una *teoría del trabajo basada en el conocimiento*. De este modo, exhorta a reconocer la influencia de las máquinas y los instrumentos industriales en el desarrollo del conocimiento de la naturaleza, ampliando una *teoría maquínica de la ciencia*. La expresión "inteligencia de las máquinas" en última instancia adquiere por lo menos cuatro significados en esta discusión: el conocimiento humano de la máquina, el conocimiento encarnado en el diseño de la máquina, las tareas humanas automatizadas por la máquina y el nuevo conocimiento del mundo posibilitado por su uso.

El capítulo 4 se centra en la relación entre Babbage y otro pilar de la economía política de la era industrial, Karl Marx, una relación que ha sido muy poco investigada.[43] Este capítulo, como cualquier otro de este libro, explora la imbricación del conocimiento en actos y artefactos materiales, e interpreta las teorías de Marx según esa mirada. En un fragmento famoso de los *Grundrisse*, Marx predijo que la acumulación progresiva de conocimiento (o lo que él llamó el "intelecto general") en máquinas socavaría las leyes de la acumulación capitalista y causaría su crisis definitiva. En especial, gracias a la interpretación del *operaismo* italiano después de 1989, este pasaje poco ortodoxo (conocido como "El fragmento sobre las máquinas") ha tenido una amplia recepción entre generaciones de académicos y activistas como una profecía de la economía del conocimiento, del derrumbe de las puntocom o el surgimiento de la IA. El capítulo revela, después de décadas de especulaciones, el origen de la idea del "intelecto general", que Marx encontró por primera vez en el libro de William Thompson, *An Inquiry into the Principles of the Distribution of Wealth* [Una investigación sobre los principios de la distribución de la riqueza] (1824). Sobre todo, el capítulo explica por qué esa idea desapareció después en *El capital* de Marx. En Thompson, Marx encontró la idea de la acumulación virtuosa de conocimiento, pero también el argumento de que una vez que el conocimiento es alienado por las máquinas, se vuelve hostil para los trabajadores. Pero fue en Babbage que Marx halló una teoría alternativa para resolver el papel ambiguo que desempeñaban el conocimiento y la ciencia en la economía industrial. En *El capital*,

[43] Entre las excepciones están George Caffentzis, *In Letters of Blood and Fire: Work, Machines, and Value*, Oakland: PM Press, 2013; Amy E. Wendling, *Karl Marx on Technology and Alienation*, Berlin: Springer, 2009. Ver también Rob Beamish, *Marx, Method, and the Division of Labour*, Urbana: University of Illinois Press, 1992; Bernhard Dotzler, *Diskurs und Medium 1: Zur Archäologie der Computerkultur*, Munich: Fink Verlag, 2006.

Marx reemplazó las expectativas utópicas en torno al "intelecto general" con la figura material del "trabajador colectivo" (*Gesamtarbeiter*), que era otro nombre para la cooperación extendida del trabajo. La figura del trabajador colectivo, como una especie de superorganismo que conecta a los humanos con las máquinas, marca en este libro el pasaje a la era de la cibernética y sus experimentos en autoorganización. Como transición hacia la segunda parte, el capítulo 5 resume brevemente la transformación del trabajo desde la era industrial a la era cibernética, aclarando su bifurcación en *energía abstracta* y *forma abstracta* (o *información*).

La segunda parte se centra en el conexionismo como la genealogía principal de los actuales sistemas de IA (evitando reiterar literatura conocida sobre cibernética, teoría de la información e IA simbólica). El capítulo 6 enmarca el surgimiento de las redes neuronales artificiales desde una perspectiva un poco olvidada, es decir, desde el punto de vista de los estudios sobre la autoorganización de los organismos y las máquinas (que han pasado desapercibidos incluso para Boden en su exhaustiva historia de la IA). En la actualidad, las teorías de la autoorganización son populares en la física, la química, la biología, la neurociencia y la ecología, pero fue la cibernética, y no una ciencia natural, la que desencadenó el debate sobre la autoorganización a mediados del siglo XX. El capítulo presenta los paradigmas de la computación autoorganizada que contribuyeron, entre otras cosas, a la consolidación del conexionismo, en particular, la idea original de las redes neuronales (1943-47) de Warren McCulloch y Walter Pitts, el autómata celular (1948) de John von Neumann y el "Perceptrón" (1957) de Rosenblatt. El capítulo investiga cómo las teorías cibernéticas de la autoorganización también respondieron a cambios sociotécnicos. Como sucedió en siglos anteriores con otras variantes del pensamiento mecanicista, la cibernética proyectó sobre el cerebro y la naturaleza formas de organización que ya formaban parte de la composición técnica de la sociedad circundante. Un ejemplo clave es la red telegráfica, que se usó, en el siglo XIX, como una analogía del sistema nervioso y, en el siglo XX, para formalizar las redes neuronales, así como también la mismísima máquina de Turing.

El capítulo 7 rastrea la idea de las redes neuronales artificiales planteada por McCulloch y Pitts hasta la olvidada controversia de la Gestalt: el debate acerca de si la percepción humana es un acto de cognición que puede representarse de manera analítica y, por lo tanto, mecanizarse. Los manuales sobre aprendizaje automático repiten, por lo general, que McCulloch y Pitts se inspiraron en la neurofisiología del cerebro, pero pasan por alto esta confrontación intelectual. De hecho, fue a raíz de esos debates que la expresión "percepción Gestalt" se transformó gradualmente, en publicaciones militares y académicas,

en la conocida expresión "reconocimiento de patrones". La controversia de la Gestalt es un fósil cognitivo de problemas no resueltos cuyo estudio puede ayudar a entender la forma y los límites que ha heredado el aprendizaje profundo, específicamente, la oposición no resuelta entre percepción y cognición, imagen y lógica, que ha obsesionado a la tecnociencia del siglo XX.

El capítulo 8 aclara el papel ambivalente que tuvo el economista neoliberal Friedrich Hayek en la consolidación del conexionismo. En su libro *The Sensory Order* [El orden sensorial] (1952), Hayek propuso una teoría conexionista de la mente que ya era mucho más avanzada que las definiciones de IA surgidas en la Conferencia de Dartmouth de 1956. En ese texto, como también habían propuesto McCulloch y Pitts, Hayek especuló sobre la posibilidad de que la máquina cumpliera una función similar al "sistema nervioso como un instrumento de clasificación".[44] Hayek estudió la autoorganización de la mente de una manera similar a la de los cibernéticos, pero con otros fines: no la automatización industrial sino la autonomía del mercado.

El capítulo 9 se centra en uno de los episodios más importantes y menos estudiados de la historia de la IA: cuando Rosenblatt inventó la red neuronal artificial "Perceptrón" en la década de 1950. A pesar de sus limitaciones, el Perceptrón constituyó un avance en la historia de la computación porque automatizó, por primera vez, una técnica de análisis estadístico; por ese motivo, se lo recuerda como el primer algoritmo de aprendizaje automático.[45] Como forma técnica, el Perceptrón sostenía que imitaba las redes neuronales biológicas. Pero como forma matemática, expresaba un truco diferente: para resolver el reconocimiento de patrones, representaba los pixeles de una imagen como coordenadas independientes en un espacio multidimensional. Es interesante señalar que el método estadístico de proyección multidimensional se originó en los campos de la psicometría y la eugenesia a fines del siglo XIX, y era análogo a la técnica utilizada por Charles Spearman para evaluar la "inteligencia general" en la controvertida práctica del test del cociente intelectual (CI). Esta es una prueba más de la genealogía social de la IA: la primera red neuronal artificial —el Perceptrón— no nació como la automatización del *razonamiento lógico*, sino como un método estadístico usado originariamente para *medir la inteligencia* en tareas cognitivas y organizar las jerarquías sociales en consecuencia.

[44] Friedrich Hayek, *The Sensory Order: An inquiry into the Foundations of Theoretical Psychology*, Chicago: University of Chicago Press, 1952, 55.

[45] Sobre el primer uso del término "aprendizaje automático" ver Arthur Samuel, "Some Studies in Machine Learning Using the Game of Checkers", *IBM Journal of Research and Development* 44, 1959: 206-26. También, Turing especuló sobre "máquinas no organizadas" que eran capaces de autoorganizarse y, de ese modo, aprender: Alan Turing, "Intelligent Machinery", 1948, en *The Essential Turing*, ed. B. Jack Copeland, Oxford: Oxford University Press, 2004.

La conclusión considera de qué modo el principio operativo de la IA, en realidad, no es solo la automatización del trabajo, sino también la imposición de jerarquías sociales del trabajo manual y mental *a través de* la automatización. Del siglo XIX al XX, el "ojo del amo" del capitalismo industrial se extendió a toda la sociedad, e impuso nuevas formas de control también basadas en mediciones estadísticas de la "inteligencia", para discriminar a los trabajadores en clases según los tipos de cualificación. Por ejemplo, esa fue una de las aplicaciones directas del test de CI según el psicólogo estadounidense Lewis Terman, que en 1919 argumentó que "un CI de 75 o menor corresponde comúnmente a la clase trabajadora no cualificada, un CI de 75 a 85 es el rango predominante para el trabajo semicualificado, y que 80 u 85 es suficiente para tener éxito en algunos tipos de trabajo cualificado".[46] La IA continúa este proceso de codificar las jerarquías sociales y discriminar en la fuerza laboral imponiendo de manera indirecta un criterio de medición de la inteligencia. El sesgo de género, de clase y de raza que los sistemas de IA amplifican de manera notoria no solo debe considerarse un defecto técnico, sino una característica discriminatoria intrínseca de la automatización en un contexto capitalista. El impacto del sesgo de la IA no se limita a la opresión social: también conduce a una imposición implícita de jerarquías laborales y del conocimiento que refuerza la polarización de trabajadores cualificados y no cualificados en el mercado laboral. El reemplazo de los trabajos tradicionales por sistemas de IA debería estudiarse junto con el desplazamiento y la multiplicación de empleos precarios, mal pagados y marginalizados en toda la economía mundial.[47] La IA y el trabajo fantasma parecen ser, según esta perspectiva, dos caras de un mismo mecanismo de automatización del trabajo y psicometría social.

Este libro propone la teoría laboral de la automatización, en definitiva, no solo como principio analítico para desmantelar el "algoritmo maestro" de los monopolios de IA, sino también como un principio sintético: como una *práctica de la autonomía social* para nuevas formas de creación de conocimiento y nuevas culturas de la invención.

[46] Lewis Terman, *The Intelligence of School Children: How Children Differ in Ability, the Use of Mental Tests in School Grading, and the Proper Education of Exceptional Children*, Boston: Houghton Mifflin, 1919, 274. Citado en Stephen Jay Gould, *The Mismeasure of Man*, New York: Norton & Company, 1981, 212.

[47] Sobre el deterioro del mercado laboral hacia ocupaciones absurdas, ver David Graeber, *Bullshit Jobs: A Theory*, London: Simon & Schuster, 2018. Ver también Aaron Benanav, *Automation and the Future of Work*, London: Verso, 2020.

1. LAS HERRAMIENTAS MATERIALES DEL PENSAMIENTO ALGORÍTMICO

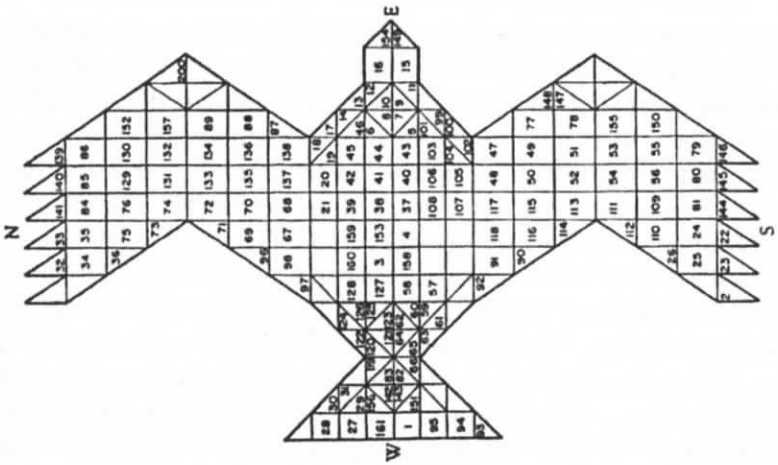


Figura 1.1. Diagrama del altar del fuego del ritual Agnicayana. Frits Staal, "Greek and Vedic Geometry", *Journal of Indian Philosophy* 27, N° 1 (1999): 111 (imagen rotada).

El poder de nuestras herramientas "mentales" se ve amplificado por el poder de nuestras herramientas "de metal".

Jeannette Wing, "Computational Thinking"[1]

Cuando se usa una herramienta material, siempre se puede aprender más que el conocimiento invertido en su invención.

Peter Damerow y Wolfgang Lefèvre, "Tools of Science"[2]

[1] Jeannette M. Wing, "Computational Thinking and Thinking about Computing", *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical, and Engineering Sciences* 366, N° 1881, 2008: 3718.

[2] Peter Damerow y Wolfgang Lefèvre, "Tools of Science", en Peter Damerow, *Abstraction and Representation: Essays on the Cultural Evolution of Thinking*, Berlin: Springer, 2013, 401.

> Las reglas se vuelven mecánicas antes de que puedan ser ejecutadas por máquinas.
>
> Lorraine Daston, "Algorithms before Computers"[3]

Recomponer a un dios desmembrado

Uno de los mitos de la cosmogénesis de los Vedas narra que el dios supremo Prajapati se rompe en pedazos en el acto de crear el universo. Después de la creación, al contrario que en las narrativas occidentales de dominio y principios de no contradicción, el cuerpo del creador se encuentra descoyuntado, desmembrado. Este antiguo mito se sigue representando hoy en India, en el ritual Agnicayana, en el cual los devotos hindúes recomponen simbólicamente el cuerpo fragmentado del dios construyendo el altar del fuego Syenaciti (ver fig. 1.1). El altar Syenaciti se prepara alineando un millar de ladrillos de una forma y tamaño precisos, según un elaborado plano geométrico que dibuja el contorno de un halcón. Los trabajadores colocan cinco capas de 200 ladrillos cada una, mientras recitan un mantra dedicado y siguen instrucciones paso a paso. Resolviendo un acertijo que es la clave del ritual, cada capa debe mantener la misma superficie y forma, pero una configuración diferente.[4] Finalmente, el altar del halcón debe mirar hacia el este, como preludio de un vuelo simbólico del dios reconstruido hacia el sol naciente, un ejemplo único de reencarnación divina por medios geométricos.

El ritual Agnicayana está descrito meticulosamente en los apéndices de los Vedas dedicados a la geometría, los Śulbasūtras, que se compusieron en India, alrededor del año 800 a. de C., aunque recogen una tradición oral mucho más antigua.[5] Cuentan que los *rishi* (espíritus vitales) crearon siete *purusha* (seres

[3] Lorraine Daston, "Algorithms before Computers: Patterns, Recipes, and Rules", Katz Distinguished Lecture in the Humanities, Simpson Center for the Humanities, University of Washington, 19 de abril de 2017. Ver también: Lorraine Daston, *Rules: A Short History of What We Live By*, Princeton, NJ: Princeton University Press, 2022.

[4] K. Ramasubramanian, "Glimpses of the History of Mathematics in India", en *Mathematics Education in India: Status and Outlook*, ed. R. Ramanujam y K. Subramaniam, Mumbai: Homi Bhaba Centre for Science Education (TIFR), 2012.

[5] El ritual Agnicayana fue descrito por el indólogo holandés Frits Staal en dos tomos y en un documental sobre una expedición a Kerala, India, en 1975: Frits Staal, *Agni: The Vedic Ritual of the Fire Altar*, dos tomos, Berkeley: Asian Humanities Press, 1983. Staal argumentó que las formas culturales abstractas surgen como algo no consciente, y que el lenguaje, los números y la geometría son primero prácticas colectivas. Ver Frits Staal, *Rules without Meaning: Ritual, Mantras, and the Human Sciences*, New York: Peter Lang, 1989, 71.

cósmicos) de forma cuadrada que juntos componían un solo cuerpo, y es a partir de esta configuración simple que evolucionó el complejo cuerpo de Prajapati.[6] Los Śulbasūtras enseñan la construcción de otros altares de formas geométricas específicas para conseguir los auspicios de los dioses. Por ejemplo, sugieren que "aquellos que desean destruir a enemigos existentes y futuros deben construir un altar del fuego con forma de rombo".[7] Más allá del simbolismo religioso, el ritual Agnicayana y los Śulbasūtras en general tenían, efectivamente, la función de transmitir técnicas útiles para la sociedad de su época, como la manera de planificar una construcción y de ampliar edificios existentes manteniendo sus proporciones originales.[8] El ritual Agnicayana explica la materialidad social originaria del conocimiento matemático, pero también las jerarquías del trabajo manual y mental típico de un sistema de castas. En la construcción del altar, los trabajadores se rigen por normas que tradicionalmente solo posee y transmite un grupo específico de señores. Además de ser ejercicios geométricos, los rituales como el Agnicayana enseñan una especie de conocimiento procedimental no solo abstracto, sino que se basa en un entrenamiento "mecánico" continuo, que apunta una vez más al papel de la religión como motivación para la exactitud y, al mismo tiempo, a los ejercicios espirituales como forma de disciplinar el trabajo.[9]

El ritual Agnicayana es un artefacto único en la historia de la civilización humana: es el ritual documentado más antiguo de la humanidad que se sigue practicando en la actualidad, aunque, debido a su complejidad, solo se realiza pocas veces en un siglo.[10] A lo largo de todo este tiempo, ha transmitido y conservado sofisticados paradigmas de conocimiento y, debido a su mecanismo combinatorio, puede definirse como un ejemplo primordial de cultura algorítmica. ¿Pero cómo podemos interpretar un ritual tan antiguo como el Agnicayana como *algorítmico*? En informática, una de las definiciones más comunes de algoritmo es la siguiente: un procedimiento finito de instrucciones paso a paso para convertir los valores de entrada [*input*] en un resultado [*output*],

[6] Paolo Zellini, *La matematica degli dèi e gli algoritmi degli uomini*, Milano: Adelphi, 2016, 41. Traducido como *The Mathematics of the Gods and the Algorithms of Men*, London: Penguin, 2020.

[7] Kim Plofker, "Mathematics in India", en *The Mathematics of Egypt, Mesopotamia, China, India, and Islam*, ed. Victor Katz, Princeton, NJ: Princeton University Press, 2007.

[8] Sobre un estudio de la transferencia de conocimientos y tecnologías en la antigüedad, ver Jürgen Renn (ed.), *The Globalization of Knowledge in History*, Princeton, NJ: Princeton University Press, 2020.

[9] La división del trabajo del ritual Agnicayana nos recuerda la elaborada chaîne opératoire (cadena operativa) que el antropólogo francés André Leroi-Gourhan identificó en muchas prácticas ancestrales de fabricación de herramientas que, en su origen, no son jerárquicas, sino espontáneas y cooperativas. Ver Frederic Sellet, "Chaîne opératoire: The Concept and its Applications", *Lithic Technology* 18, N°s 1-2, 1993: 106-12.

[10] Los últimos se realizaron en 1955, 1975 (la ceremonia documentada por Frits Staal) y 2011.

independientemente de los datos y usando de la mejor manera los recursos dados.[11] Los mantras repetitivos que guían a los trabajadores en la construcción del altar del fuego podrían asemejarse a las reglas de un programa informático: independientemente del contexto, el algoritmo Agnicayana organiza una distribución precisa de ladrillos que todas las veces da como resultado la construcción del Syenaciti. Los historiadores descubrieron que las matemáticas indias han sido predominantemente algorítmicas desde la antigüedad, lo que significa que la solución a un problema se proponía mediante un procedimiento paso a paso en lugar de una demostración lógica.[12]

De manera similar, el matemático italiano Paolo Zellini argumentó que el ritual Agnicayana revela una técnica más sofisticada que la simple obediencia a una norma rígida, es decir, la *técnica heurística de aproximación por incrementos*. Se sabe que las matemáticas védicas, antes que otras civilizaciones, estaban familiarizadas con números infinitamente grandes e infinitesimalmente pequeños: los antiguos sutras ya multiplicaban los numerales posicionales del sistema hindú a grandes escalas para representar las vastas dimensiones del universo (un ejercicio especulativo que sería impracticable con los sistemas aditivos de los numerales sumerios, griegos y romanos, por ejemplo). Las matemáticas védicas también estaban familiarizadas con números irracionales, como la raíz cuadrada, que en muchos casos (como $\sqrt{2}$) solo puede calcularse por aproximación. Los mantras de los Śulbasūtras entonan las explicaciones más antiguas (y pedantes) de procedimientos de cálculo (como el llamado algoritmo babilónico) para aproximar resultados de raíz cuadrada. Los procedimientos de aproximación pueden parecer engorrosos, débiles e imprecisos, en comparación con la exactitud de nuestras funciones matemáticas y teoremas geométricos, pero su papel dentro de la historia de las matemáticas y la tecnología es más importante de lo que se piensa. En su historia sobre las técnicas de crecimiento progresivo (que incluye el antiguo método del gnomon, entre otros), Zellini argumentó que las antiguas técnicas hindúes de aproximación por incrementos son equivalentes a los algoritmos modernos del cálculo de Leibniz y Newton, e incluso a las técnicas de corrección de errores que se encuentran en el corazón

[11] Ver también: "Un algoritmo es una secuencia finita de reglas a aplicar en un orden determinado sobre un conjunto finito de datos para llegar, en una cantidad de pasos finita, a un cierto resultado, independientemente de los datos". Jean-Luc Chabert (ed.), *A History of Algorithms: From the Pebble to the Microchip*, Berlin: Springer, 1999, 2. El original en francés proporciona una definición más precisa ya que la edición inglesa quita la frase "independientemente de los datos". Jean-Luc Chabert, *Histoire d'algorithmes: Du caillou à la puce*, Paris: Belin, 1994, 6.

[12] M. S. Sriram, "Algorithms in Indian Mathematics", en *Contributions to the History of Indian Mathematics*, Gurgaon: Hindustan Book Agency, 2005, 153-82.

de las redes neuronales artificiales y el aprendizaje automático, que constituyen el paradigma actual de la IA (ver capítulo 9).[13]

Para algunos, puede parecer un acto de apropiación indebida interpretar las culturas antiguas a la luz del paradigma de las últimas tecnologías de Silicon Valley o estudiar el componente matemático de rituales religiosos en una época de nacionalismo rampante. Sin embargo, afirmar que las técnicas abstractas del conocimiento y los metalenguajes artificiales pertenecen solamente al Occidente industrial moderno no solo es históricamente inexacto, sino un acto de *colonialismo epistemológico* implícito hacia las culturas de otros tiempos y lugares.[14] Gracias a la contribución de la etnomatemática, los estudios descoloniales y la historia de la ciencia y la tecnología, ahora se reconocen e investigan formas alternativas de cálculo ajenas a la hegemonía del Norte Global y su régimen de extractivismo del conocimiento. Debido a su papel en la programación informática, por lo general, se percibe a los algoritmos como la aplicación de conjuntos complejos de reglas en lo abstracto; por el contrario, yo argumento aquí que los algoritmos, incluso los complejos que usa la IA y el aprendizaje automático, tienen su génesis en actividades sociales y materiales. El pensamiento algorítmico y las prácticas algorítmicas, entendidas en un sentido amplio como la resolución de problemas basada en reglas, formaron parte de todas las culturas y civilizaciones.

Según estas líneas de investigación, este capítulo esboza una historia provisional de los algoritmos, examinando a grandes rasgos (1) los *algoritmos sociales*, es decir, los procedimientos que se plasmaban en rituales y prácticas, por lo general transmitidos de manera oral y no formalizados en lenguaje simbólico; (2) los *algoritmos formales*, o sea, los procedimientos matemáticos para facilitar el cálculo y las operaciones administrativas que se encontraron, por ejemplo, en Europa a partir de la Edad Media y en India, mucho antes de esa época; (3) los *algoritmos automatizados*, a saber, la implementación de algoritmos formales en máquinas y computadoras electrónicas a partir de la era industrial en Occidente.

[13] Zellini, *La matematica degli dèi*, 51. Sobre una historia controvertida pero influyente del cálculo, ver Hermann Cohen, *Das Prinzip der Infinitesimal-Methode und seine Geschichte: Ein Kapitel zur Grundlegung der Erkenntniskritik*, 1883.

[14] El historiador de las matemáticas Senthil Babu observa: "Hasta ahora, la historia de las matemáticas en la India se ha centrado principalmente en un corpus de textos escritos en sánscrito [...]. La indología reconoció y canonizó solo la tradición sánscrita noble. Se invisibilizó el conocimiento de muchos practicantes de las matemáticas". Senthil Babu, *Mathematics and Society: Numbers and Measures in Early Modern South India*, Oxford: Oxford University Press, 2022, 2-5. Ver también Senthil Babu, "Indigenous Traditions and the Colonial Encounter: A Historical Perspective on Mathematics Education in India", en Ramanujam and Subramaniam, *Mathematics Education in India*.

Arqueología del algoritmo

No nos sorprende que la idea de investigar los "algoritmos antes de las computadoras" surgiera por primera vez del campo de la informática. A fines de la década de 1960, el matemático estadounidense Donald Knuth escribió un libro muy influyente, *The Art of Computer Programming*, [El arte de programar computadoras], y realizó contribuciones importantes a la investigación de las técnicas matemáticas de la antigüedad en ensayos como "Ancient Babylonian Algorithms" [Antiguos algoritmos babilónicos]. En esos años, la misión de Knuth fue sistematizar el campo de la informática y convertirla en una disciplina académica respetable. La evidencia de los algoritmos antiguos se utilizó para subrayar que la informática no consistía en oscuros aparatos electrónicos, sino que formaba parte de una larga tradición de técnicas culturales de manipulación simbólica. Sin embargo, en este caso, la arqueología del algoritmo no se usó para demostrar principios universalistas del pensamiento o el potencial emancipador del aprendizaje a lo largo de la historia de la civilización, sino por los intereses específicos de las nuevas clases de programadores y fabricantes de computadoras:

> Una de las maneras de contribuir a que la informática sea respetable es demostrar que está profundamente arraigada en la historia y no es solo un fenómeno efímero. Por lo tanto, es natural recurrir a los documentos más antiguos que se conservan sobre el cálculo y estudiar cómo se abordaba el tema hace casi 4.000 años. Las expediciones arqueológicas en Medio Oriente han desenterrado una gran cantidad de tablillas de barro que contienen cálculos matemáticos, y veremos que esas tablillas aportan muchas pistas interesantes sobre la vida de los primeros "científicos de la computación".[15]

Knuth observó que las fórmulas matemáticas que hoy se definirían como algebraicas o analíticas ya fueron descritas por los babilonios por medio de procedimientos paso a paso, es decir, algoritmos. Por supuesto, estos procedimientos estaban formulados en palabras del lenguaje común, pero todavía no en el metalenguaje simbólico de las matemáticas. La investigación de Knuth confirma la hipótesis de que los métodos basados en procedimientos (lo que llamamos

[15] Donald E. Knuth, "Ancient Babylonian Algorithms", *Communications of the* ACM 15, N° 7, 1972: 671.

"lenguaje de máquina") fueron anteriores a la consolidación de las matemáticas como un metalenguaje de representaciones simbólicas:

> Los matemáticos babilonios no se limitaban simplemente a los procesos de suma, resta, multiplicación y división; eran expertos en resolver muchos tipos de ecuaciones algebraicas. Pero no tenían una notación algebraica que fuera tan transparente como la nuestra; representaban cada fórmula con una lista de reglas paso a paso para su evaluación, por ejemplo, mediante un algoritmo para calcular esa fórmula. En efecto, trabajaban con una representación de fórmulas en "lenguaje de máquina" en vez de un lenguaje simbólico.[16]

Knuth quería liberar el algoritmo de la era de la informática y la ingeniería para convertirlo, de manera retroactiva, en un tema amplio para la historia de la cultura. Eso sucedió en la década de 1960, cuando la informática aún estaba luchando, como lo subrayó el historiador Nathan Ensmenger, para alcanzar el estatus de disciplina formal en los Estados Unidos. Esa certificación fue posible al establecer el algoritmo como su concepto central, en lugar de la información, como sucedió en Europa (vean el término alemán *informatik*, el francés *informatique* y el italiano *informatica* como nombres de la computación).[17] Esa canonización del algoritmo es particularmente significativa para los historiadores de la ciencia y la tecnología porque procedía de su entorno profesional original: a los operadores de máquinas computadoras, una nueva generación de trabajadores mentales, les tocó escribir su propia historia de la tecnología, y obviamente lo hicieron de acuerdo con la forma lógica que sustentaba su trabajo.

La reconstrucción de la prehistoria del algoritmo (podríamos decir su "arqueología") también ha sido una preocupación que resurgió en las matemáticas. En particular, el matemático francés Jean-Luc Chabert aportó una síntesis ejemplar que incluso se anima a traspasar las fronteras de la informática como disciplina:

> Los algoritmos han existido desde el principio de los tiempos y desde mucho antes de que una palabra especial fuera acuñada para describirlos. Los algoritmos son simplemente un conjunto de instrucciones paso a paso, que deben llevarse a cabo de manera bastante mecánica, con el fin de lograr algún resultado deseado [...] Los algoritmos no se limitan a las matemáticas

[16] Ibid., 672.

[17] Nathan Ensmenger, *The Computer Boys Take Over: Computers, Programmers, and the Politics of Technical Expertise*, Cambridge, MA: MIT Press, 2010, 131.

> [...] Los babilonios los usaban para decidir aspectos jurídicos, los profesores de latín los usaban para entender bien la gramática, y todas las culturas los usaron para predecir el futuro, para decidir un tratamiento médico o para preparar comida [...]. Por lo tanto, hablamos de recetas, reglas, técnicas, procesos, procedimientos, métodos, etc., y usamos la misma palabra para referirnos a diferentes situaciones. Por ejemplo, los chinos usan la palabra *shu* (que significa regla, proceso o estratagema) tanto para las matemáticas como para las artes marciales [...]. Finalmente, el término "algoritmo" ha pasado a significar cualquier proceso de cálculo sistemático, que es un proceso que puede realizarse automáticamente. En la actualidad, principalmente debido a la influencia de la computación, se ha incorporado la idea de finitud al significado de algoritmo como un elemento esencial y lo distingue de conceptos más vagos como proceso, método o técnica.[18]

Además, en esta interpretación, el algoritmo no parece ser la abstracción tecnológica más reciente, sino una técnica muy antigua, anterior a muchas herramientas y máquinas que ha diseñado la mente humana. Entonces, estos esfuerzos de historización invitan a reconsiderar al algoritmo como una *técnica cultural* fundamental de la humanidad, que surgió de manera gradual a partir de prácticas y rituales colectivos muy cercanos temporalmente a los rasgos constitutivos y primordiales de todas las civilizaciones. En resumen, debería agregarse el algoritmo a la lista de técnicas que el historiador de la cultura Thomas Macho compiló en un pasaje bastante citado:

> Las técnicas culturales —como escribir, leer, pintar, contar, tocar música— siempre son más antiguas que los conceptos que se generaron a partir de ellas. Las personas escribieron desde mucho antes de que conceptualizaran la escritura o los alfabetos; pasaron milenios antes de que las pinturas y las esculturas originaran el concepto de imagen; y hasta la actualidad, las personas cantan o tocan música sin saber nada sobre tonos o sistemas de notación musical. Contar también es más antiguo que la noción de número. Seguramente, la mayoría de las culturas contaban o realizaban ciertas operaciones matemáticas, pero no necesariamente dedujeron de eso un concepto de número.[19]

[18] Chabert, *A History of Algorithms*, 1.

[19] Thomas Macho, "Zeit und Zahl: Kalenderund Zeitrechnung als Kulturtechniken", en *Bild – Schrift – Zahl*, ed. Sybille Krämer and Horst Bredekamp, Munich: Wilhelm Fink, 179. Citado en traducción en Geoffrey Winthrop-Young, "Cultural Techniques: Preliminary Remarks", *Theory, Culture, and Society* 30, N° 6, 2013: 8.

La investigación sobre técnicas culturales (en alemán, *Kulturtechniken*, que también puede traducirse como "técnicas de civilización") destacó el papel de las prácticas materiales en la creación de todas las formas simbólicas de las civilizaciones. No obstante, este punto de vista abierto y pluralista muchas veces descuida el estudio de las causas de esa evolución hacia la abstracción, y eso da lugar a una interpretación culturalista de fenómenos que son más profundos. Por ejemplo, Chabert, en su historia de los algoritmos, relaciona el surgimiento de las técnicas de cálculo con las necesidades económicas: "Las operaciones aritméticas básicas de la escuela primaria, multiplicar y dividir, parecen haber derivado de necesidades económicas muy tempranas, anteriores, sin duda, a la aparición de la civilización que utilizaba la escritura".[20] A pesar de que siempre es difícil generalizar los hallazgos históricos sobre el pasado remoto, algunos problemas económicos —como las condiciones de escasez o excedente de recursos— parecen estar presentes en los orígenes de las técnicas matemáticas y de recuento.[21] Vale la pena recordar, sin la intención de revivir hambrunas ancestrales, que la palabra "número" viene del latín *numerus*, o "porción de comida".

Mucho antes de la institución de las disciplinas matemáticas y geométricas, las civilizaciones antiguas ya eran grandes "máquinas" de segmentación social, que marcaban cuerpos humanos y territorios con abstracciones que permanecerían operativas durante milenios. Se sabe y se repite que uno de los primeros censos de población registrados, organizado por los babilonios, se llevó a cabo alrededor del 3800 a. de C., pero la historia consigna que esas "técnicas culturales" también eran inhumanas y brutales. Basándose en el historiador Lewis Mumford y su descripción de las sociedades antiguas como "megamáquinas", Gilles Deleuze y Félix Guattari enumeraron otras técnicas de abstracción distintas del número en las que se asentaba el orden social. Argumentan que en la civilización antigua, el poder de controlar las "fuerzas productivas [...] reside en estas operaciones: tatuar, extirpar, hacer incisiones, escarificar, mutilar, cercar, iniciar".[22] Los números y las herramientas para contar eran componentes de esas *máquinas abstractas primitivas* que forjaron las civilizaciones humanas a través de la territorialización y la segmentación. Los números, al igual que las reglas abstractas y las prácticas heurísticas, fueron herramientas clave en la administración de las sociedades antiguas, pero no se inventaron de la nada: surgieron materialmente como una forma de poder a través del trabajo y los rituales, a través de la disciplina y la práctica.

[20] Chabert, *A History of Algorithms*, 7.

[21] Sobre un análisis alternativo de las primeras economías, ver Marshall Sahlins, *Stone Age Economics*, Chicago: Aldine-Atherton, 1972.

[22] Gilles Deleuze y Felix Guattari, *Anti-Oedipus: Capitalism and Schizophrenia*, New York: Viking, 1977, 145.

La relación intrínseca entre las abstracciones matemáticas y la vida material no pasó inadvertida ni siquiera para un filósofo neokantiano como Ernst Cassirer, que ha ejercido una gran influencia sobre los estudios culturales en los países de habla alemana. Según Cassirer, la "forma simbólica" del número surgió de la relación del cuerpo humano con su entorno y el uso contingente del cuerpo como el primer medio de cálculo: "Es a través de las cosas materiales enumerables, por muy sensible, concreta y limitada que sea la primera representación de estas cosas, que el lenguaje desarrolla la nueva forma y la nueva fuerza lógica que están contenidas en el número".[23] Analizando la percepción del tiempo y el espacio, Cassirer rastreó el origen de las abstracciones numéricas hasta las actividades rítmicas del trabajo. Basándose en *Arbeit und Rhythmus* [Trabajo y ritmo] (1896), el libro fundamental de Karl Bücher, y otros estudios antropológicos, Cassirer observó que la forma simbólica del número surgió de la costumbre de las canciones de trabajo, es decir, el canto para sostener el ritmo de trabajo:

> Se ha intentado remontar los inicios de la poesía a esas primeras *canciones de trabajo* primitivas en las que por primera vez el ritmo que el hombre sentía en sus propios movimientos físicos se materializaba, por así decirlo [...]. Cada forma de trabajo físico, en especial cuando es realizado por un grupo, provoca una coordinación específica de movimientos, que, a su vez, conduce a una organización rítmica y a la puntuación de las fases del trabajo [...]. Moler y frotar, empujar y tirar, presionar y pisotear: cada una se distingue por una calidad rítmica y tonal propia. En toda la amplia variedad de canciones de trabajo, en los cantos de los hilanderos y los tejedores, de los trilladores y los remeros, de los molineros y los panaderos, etc., aún podemos oír, con una cierta inmediatez, cómo un sentido rítmico específico, determinado por el carácter de la tarea, solo puede subsistir e involucrarse en el trabajo si al mismo tiempo se materializa en sonido [...]. En todo caso, el lenguaje solo pudo adquirir conciencia de las formas puras del tiempo y el número a través de la asociación con ciertos contenidos, ciertas experiencias rítmicas fundamentales, en las cuales las dos formas parecen darse en una concreción y fusión inmediatas.[24]

Este estudio puede tomarse como respuesta a la numerología platónica que ocupa un lugar central en la historia de la música: antes de que se usaran los

[23] Ernst Cassirer, *The Philosophy of Symbolic Forms*, vol. 1, New Haven, CT: Yale University Press, 1965, 228. Basado en Max Wertheimer, *Über das Denken der Naturvölker*, Leipzig: Barth, 1910.

[24] Ibid., 240.

números para medir las proporciones del ritmo, el ritmo de trabajo contribuyó a la invención de los números. Finalmente, estos hallazgos arrojan una luz diferente sobre la historia de las matemáticas, hasta tal punto que, a estas alturas, podríamos sospechar que las prácticas algorítmicas son incluso más antiguas que el propio concepto de número.

Herramientas para la construcción de ideas matemáticas

Los números suelen considerarse como algo dado, originario y elemental, que no está compuesto por nada más ni es el resultado de ninguna invención conceptual previa. Los números parecen ser obvios, eternos y no construidos. Ese punto de vista platónico e intuicionista del concepto de número ha sido criticado por historiadores de las matemáticas, que se preocupan especialmente por explicar cómo surgieron y evolucionaron las técnicas de numeración. Los arqueólogos, en especial, tienden a sugerir que la institución del número no puede ser una categoría *a priori*, ya que la actividad humana con herramientas materiales y simbólicas da testimonio de su evolución gradual: el recuento parece haber surgido, como ya se mencionó, de la necesidad de calcular y resolver problemas prácticos, como la distribución equitativa de la tierra y los recursos naturales entre la población.

Entre los *arqueólogos de la abstracción* encontramos a Peter Damerow, un historiador de la ciencia alemán, que estudió exhaustivamente, antiguas tablillas de barro babilónicas, entre otros artefactos, que se usaban como herramientas para contar. Damerow llegó a la conclusión de que la idea de número no es una forma de un conocimiento *a priori*, sino que está "sujeto al desarrollo histórico".

> La reflexión sobre los números y sus propiedades ya en la antigüedad llevó a creer que las proposiciones relativas a los números tenían un estatus especial, ya que su verdad no depende ni de la experiencia empírica ni de las circunstancias históricas. En una tradición histórica que se extiende desde los pitagóricos, pasando por la tradición platónica de la antigüedad, la antigüedad tardía y la Edad Media, pasando por el racionalismo y el idealismo crítico de la filosofía kantiana y neokantiana hasta el positivismo lógico y el constructivismo de la actualidad, se ha considerado que esta creencia es la prueba de que existen objetos de los que podemos obtener un conocimiento *a priori*. Como un *leitmotiv* recurrente, la convicción de que los números son por naturaleza ahistóricos y universales está entretejida

> en toda la historia de la filosofía. Para explicar este fenómeno desconcertante se propuso una variedad de razones. El historiador, por su parte, se enfrenta al hecho de que las técnicas numéricas y los conceptos aritméticos tienen una historia que, al menos en la superficie, no difiere en nada de otros logros de nuestra cultura. En vista de la variedad de técnicas aritméticas históricamente documentadas, es casi imposible descartar la suposición de que el concepto de número —al igual que la mayoría de las estructuras de la cognición humana— está sujeto al desarrollo histórico, que en el curso de la historia lo expone a cambios sustanciales.[25]

Por otra parte, Damerow, basándose en los descubrimientos de la arqueología, se dio cuenta de que "la aparición de los números es el resultado de múltiples procesos de aprendizaje".[26] El aprendizaje se convirtió en una idea central de la investigación de Damerow, a través de la cual explicó la creación de la civilización humana y su evolución. Para Damerow, el aprendizaje es un proceso de interacción de la humanidad con la naturaleza y el mundo, mediado por el trabajo, las herramientas y el lenguaje en un proceso continuo de abstracción. Sin embargo, el aprendizaje no es un proceso de abstracción en aras de la abstracción misma, sino un medio colectivo de emancipación y empoderamiento. ¿Cómo se da este proceso social de aprendizaje?

Damerow argumentaba que el aprendizaje se basa en la construcción de "modelos mentales" que fundamentalmente representan e interiorizan acciones externas.[27] Sobre esos modelos mentales interiorizados, es posible construir otros niveles de abstracción en un andamiaje progresivo de "constructos metacognitivos".[28] Este andamiaje continuo de abstracciones es una forma de emancipación de la razón, pero ocurre que algunos niveles acaban por percibirse como metafísicos y separados de los demás. Según Damerow, los niveles superiores del andamiaje cognitivo crean la ilusión de abstracciones desmaterializadas y categorías *a priori* como el concepto de número. Sin embargo, lo decisivo en esta teoría no es simplemente la explicación de la ilusión *a priori*, sino más bien cómo las "operaciones mentales [...] reflejan acciones sobre los objetos reales" y, viceversa, cómo las herramientas ayudan a construir modelos mentales:

[25] Peter Damerow, "The Material Culture of Calculation: A Theoretical Framework for a Historical Epistemology of the Concept of Number", en *Mathematisation and Dematheматisation: Social, Philosophical, and Educational Ramifications*, ed. Uwe Gellert y Eva Jablonka, Leiden: Brill, 2008, 19.

[26] Ibid., 20.

[27] Ibid.

[28] Ibid., 22.

> Los conceptos lógico-matemáticos no se abstraen directamente de los objetos de cognición, sino de la coordinación de las acciones a las que se aplican y por las que, de alguna manera, se transforman. Según esta suposición la aparición de operaciones mentales del pensamiento lógico-matemático se basa en la interiorización de sistemas de acciones reales. Las acciones interiorizadas son el punto de partida de construcciones metacognitivas, a través de las cuales se convierten en elementos de sistemas de transformaciones mentales reversibles que aquí, siguiendo la terminología de Piaget, llamaremos "operaciones". Los constructos metacognitivos como el concepto de número, generados por abstracciones reflexivas, pueden entenderse como invariantes internamente representadas de operaciones mentales que reflejan acciones sobre objetos reales. Eso explica la desconcertante naturaleza *a priori* de construcciones como el concepto de número.[29]

Para explicar la formación del concepto de número a lo largo de la historia, Damerow sugirió un andamiaje de modelos semióticos y cognitivos que se desarrollaron progresivamente desde *prácticas de recuento* (que son heurísticas y no formalizadas, como contar con los dedos) a *sistemas de numeración* (que representan cantidades en una matriz de símbolos), a *técnicas de computación* (que expresan algoritmos o procedimientos para resolver problemas manipulando símbolos) y, finalmente, a la *teoría del número* (es decir, la aritmética como disciplina formal). Este proceso no es lineal sino que se desarrolla, según Damerow, a través de un movimiento alternado de *representación* (el uso de objetos y signos como símbolos de otros objetos, signos e ideas) y de *abstracción* (resolución de problemas).

Aplicando la idea de la *abstracción reflexiva* que combina tanto la lógica dialéctica de Hegel como la epistemología genética de Jean Piaget, Damerow esbozó las etapas progresivas de la representación simbólica (ver fig. 1.2), en las cuales el pasaje de un orden de representación al siguiente se da a través de la solución de un problema. Según Damerow:

> *Las representaciones de primer orden* son representaciones de objetos reales mediante símbolos o modelos que permiten realizar con esos símbolos las mismas acciones u operaciones que se pueden realizar con los propios objetos reales [...]. Las representaciones de segundo orden y de orden superior son representaciones de objetos mentales mediante símbolos y reglas de transformación de símbolos que corresponden a operaciones

[29] Ibid.

mentales pertenecientes a las estructuras cognitivas que constituyen los objetos mentales.[30]

Por lo tanto, el concepto de número se desarrolló a través de ciclos de representación simbólica y abstracción. Primero, los procesos de cuantificación y comparación que se basaban en equivalencia sin implicar recuento. Después, surgió el recuento como una *actividad dependiente del contexto* que usaba ayudas como los dedos, piedras y otros elementos. A partir de entonces, esos dispositivos de recuento fueron reemplazados por *símbolos dependientes del contexto* (como los signos de las bullas que se usaban para comerciar en la antigua Mesopotamia). Posteriormente, se introdujeron *símbolos independientes del contexto*, es decir, números en el sentido moderno. Finalmente, surgió la *aritmética* como una disciplina para describir números y operaciones con palabras del lenguaje natural, que, con el tiempo, fueron reemplazadas por nuevos símbolos.[31]

Para entender si este análisis puede aplicarse también a la forma algorítmica como una práctica de resolución de problemas, es necesario, en este momento, aclarar la idea de abstracción de Damerow. Basándose en Hegel y Piaget, Damerow entendía la abstracción como un proceso en el cual materialidad y reflexión, es decir, herramientas y cognición, están imbricadas y evolucionan mutuamente:

> El concepto [de reflexión] fue introducido [por Hegel] en *Filosofía real de Jena* [Jenaer Realphilosophie] para distinguir el trabajo como "actividad reflexiva" de la actividad como "mediación pura", como la mera satisfacción de un deseo a través de la destrucción de su objeto. Lo que distingue al trabajo como "actividad reflexiva" de la actividad como "mediación pura" es la durabilidad de sus medios materiales, de sus herramientas, en la cual la actividad como la unidad de propósito ideal y objeto material se ha objetivado materialmente [...]. La unidad de lo dado sensorial y la actividad mediadora construida en la lógica de Hegel, la inmediatez mediada como resultado de la reflexión, no solo constituye un constructo hipotético-teórico, sino que esa unidad se crea realmente en los medios materiales de la actividad objetiva en una miríada de formas.[32]

[30] Peter Damerow, "Abstraction and Representation", en *Abstraction and Representation: Essays on the Cultural Evolution of Thinking*, Berlin: Springer, 2013, 373.

[31] Damerow, "Material Culture", 34-47.

[32] Damerow, "Action and Cognition in Piaget's Genetic Epistemology and in Hegel's Logic", en Damerow, *Abstraction and Representation*, 8.

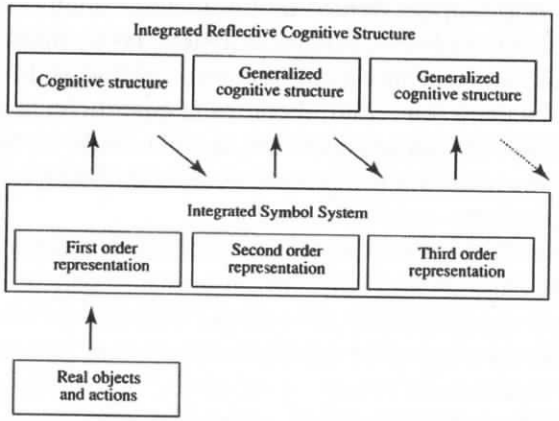


Figura 1.2. La estructura reflexiva de la abstracción. Peter Damerow, *Abstraction and Representation*, Berlin: Springer, 2013, 379.

Para Damerow, la abstracción no consiste en aislar las características más prominentes de una estructura determinada, sino en producir nuevos conocimientos en relación con un problema que hay que resolver: la abstracción no es solo una "solución elegante" a un problema, sino "una actividad dirigida hacia algún fin u objetivo", que incluye la comprensión contingente del entorno:[33]

> Es común pensar que abstracción significa abstenerse de utilizar la información disponible sobre un objeto real determinado y, en cambio, aislar ciertas propiedades y tratarlas de manera independiente. Pero este concepto de abstracción demuestra ser insatisfactorio si se utiliza para conceptualizar el desarrollo del pensamiento matemático. La abstracción en este sentido no explica ese resultado de nuevo conocimiento que obviamente sí deriva del pensamiento matemático. Además, este concepto de abstracción imposibilita o, por lo menos, dificulta entender por qué ciertas abstracciones resultan ser muy útiles, pero la enorme mayoría que podría producirse aislando arbitrariamente propiedades de objetos matemáticos solo daría lugar a sinsentidos [...]. Entender la abstracción significa esencialmente entender *qué* hay que abstraer en lugar de limitarse a saber *cómo* hay que hacerlo. Entender la abstracción que conduce a una solución elegante del problema significa entender cómo puede hallarse realmente la solución.[34]

[33] Damerow, *Abstraction and Representation*, 372.

[34] Ibid., 371.

La abstracción siempre opera dentro de limitaciones materiales determinadas y a través de ellas: los símbolos, las herramientas, las técnicas y las tecnologías se conciben y realizan en relación con recursos limitados de materia, energía, espacio, tiempo, etcétera. La realidad contra la cual lucha la abstracción no es el espacio idealizado de las ideas platónicas, sino el mundo vivo y real, compuesto por campos de fuerza y conflictos. En este sentido, la abstracción también forma parte de un antagonismo social más amplio.

Sobre todo, las limitaciones materiales impulsan a expandir el alcance de la abstracción más allá de su campo original. Junto con su colega Wolfgang Lefèvre, Damerow extendió la epistemología histórica de las matemáticas a la relación de la ciencia en general con las herramientas y los instrumentos. Su comprensión de las herramientas es, al mismo tiempo, contingente y especulativa; en pocas palabras, dialéctica. Las herramientas no solo son un medio para alcanzar un fin, sino un medio que excede el propósito de su diseño inicial:

> Las herramientas determinan si es posible alcanzar los objetivos previstos mentalmente. En este sentido, las herramientas nunca son solo lo que en realidad son. En cambio, representan el potencial de alcanzar objetivos previstos intelectualmente, es decir, representan ideas como posibilidades reales. Su aplicación actúa como mediadora entre la posibilidad y la realidad. El uso de herramientas está primordialmente al servicio del propósito para el cual fueron fabricadas. Pero las herramientas son más generales que los propósitos particulares, y la experiencia acumulada adquirida en el transcurso de su utilización conduce al conocimiento de las posibilidades susceptibles de realización y de las relaciones entre objetivos y medios en diversas condiciones de realización. Por lo tanto, la forma primaria en la que se representa el conocimiento sobre las relaciones naturales y sociales que surgen a partir del proceso de trabajo es la forma de reglas para el uso apropiado de las herramientas.[35]

En este sentido, el proceso especulativo comienza con el trabajo que inventa herramientas y tecnologías que, posteriormente, proyectan nuevas dimensiones ontológicas y campos científicos (un ejemplo canónico es la invención del motor a vapor que engendró la disciplina de la termodinámica, y no al revés; ver capítulo 3). Damerow y Lefèvre promueven una epistemología política que reconoce las limitaciones de las fuerzas históricas; es decir, el control de los recursos y la población, la producción económica y la acumulación de capital, el surgimiento

[35] Damerow y Lefèvre, "Tools of Science", 395.

de guerras y conflictos sociales y, debido a todo eso, el desarrollo de nuevas herramientas, técnicas, tecnologías y, finalmente, la ciencia. Reconocen todas esas fuerzas dentro de la categoría de trabajo, a través del cual los seres humanos transforman la naturaleza y producen nuevos conocimientos sobre ella.[36] La ciencia en general, tanto como el concepto de número en particular, es una proyección de la utilización de herramientas materiales:

> El desarrollo de la ciencia depende del desarrollo de sus herramientas materiales [...]. La clave para comprender el crecimiento del conocimiento científico consiste en el hecho de que el conocimiento que se obtiene al utilizar una nueva herramienta excede las condiciones cognitivas previas a su invención. Eso se debe al hecho de que las herramientas de la ciencia como las herramientas en general son herramientas materiales: cuando se usa una herramienta material, siempre se puede aprender más que el conocimiento invertido en su invención.[37]

A lo largo de este recorrido histórico por las abstracciones materiales, es fácil imaginar también que el concepto de algoritmo surge como resultado de un proceso dialéctico de reflexión con objetos y herramientas. El método del algoritmo —la resolución de un problema con instrucciones paso a paso— es una abstracción que, como muchas otras, surgió de los problemas de este mundo.[38]

De las herramientas para contar a los algoritmos para calcular

El término "algoritmo" tiene casi ocho siglos de antigüedad. Deriva del término *algorismus* del latín medieval, que se refería a los procedimientos para ejecutar las operaciones matemáticas básicas con los números indo-arábigos. En la Europa de la Edad Media, gracias a las rutas comerciales con el mundo árabe, el limitado sistema de numeración romana, que era aditivo, fue reemplazado poco a poco por el sistema posicional indo-arábigo, más versátil y más práctico para operaciones complejas con números grandes y, desde entonces, se ha

[36] "[Las] estructuras básicas del pensamiento lógico-matemático son [...] desarrolladas por el individuo que crece enfrentándose a retos y limitaciones específicos de su cultura, bajo los cuales tiene que interiorizar los sistemas de acción". Damerow, "Material Culture", 22.

[37] Damerow y Lefèvre, "Tools of Science", 400-1.

[38] Sobre un análisis discursivo del concepto de algoritmo que no considera la matriz económica, ver Yu Mingyi, "The Algorithm Concept, 1684-1958", *Critical Inquiry* 47, N° 3, 2021: 592-609.

convertido en el sistema estándar de todo el mundo. El término en latín *algorismus* se encuentra, por ejemplo, en el poema "Carmen de Algorismo", escrito en 1240 por Alexandre de Villedieu, un manual sobre técnicas de cálculo escrito en versos rimados como ayuda para memorizar esos procedimientos. Un libro publicado en 1501 en Venecia, y atribuido al monje del siglo XIII Johannes de Sacrobosco, lleva el título de *Algorismus Domini* y explica el cálculo manual usando números indo-arábigos con diagramas.

Pero hace muy poco tiempo que se estableció que *algorismus* es una latinización del nombre del erudito persa Muhammad ibn Musa al-Khwarizmi, bibliotecario principal de la Casa de la Sabiduría de Bagdad, autor de un libro sobre cálculo con números indo-arábigos en el año 825 de la era cristiana, aproximadamente. El original de Al-Khwarizmi en árabe se perdió, pero en el siglo XII circulaban por lo menos cuatro traducciones en latín con diferentes títulos: un manuscrito en la Biblioteca de la Universidad de Cambridge lleva el íncipit "DIXIT algorizmi" (que significa: "ha dicho Al-Khwarizmi"), mientras que en 1857 a otro se le dio el título de *Algoritmi de numero Indorum* del matemático italiano Baldassarre Boncompagni.[39] Es a través de varias transliteraciones a lenguas romances, como el francés y el español, que el término inglés "*algorithm*" llegó a las matemáticas y a la informática modernas. El libro de Al-Khwarizmi ayudó a introducir el sistema numérico posicional indo-arábigo en Occidente, aunque algunos mercaderes, como el matemático italiano Fibonacci, que viajaba con frecuencia por el Mediterráneo, probablemente aprendiera más ese sistema a través de los intercambios comerciales y la práctica que por la lectura de libros.

En términos de convenciones matemáticas, la adopción del término "algoritmo" en Occidente marcó el cambio del sistema de numeración aditivo al posicional. Ese cambio fue tanto técnico como económico, ya que estaba relacionado con la aceleración de los intercambios comerciales en Europa y el Mediterráneo, que exigían un mejor sistema de contabilidad. El sistema decimal posicional permitía escribir números de una manera más concisa y acelerar los cálculos. En Italia, los mercaderes florentinos y venecianos fueron los primeros en adoptar los números indo-arábigos, preferidos por su mayor versatilidad en las transacciones comerciales y para manejar cifras de capital cada vez mayores. Un dibujo de un libro de 1503, *Margarita philosophica*, editado por Gregor Reisch, un monje polímata alemán, muestra la disputa entre los abaquistas (que aún usaban el sistema romano y el ábaco) y los nuevos algoristas (que

[39] John N. Crossley y Alan S. Henry, "Thus Spake al-Khwârizmî: A Translation of the Text of Cambridge University Library Ms. Ii. vi. 5", *Historia Mathematica* 17, N° 2, 1990: 103-131.

Figura 1.3. Alegoría de la aritmética. Gregor Reisch, *Margarita Philosophica*, 1503.

adoptaron el sistema indo-arábigo y sus algoritmos para hacer cálculos en papel con una pluma). La alegoría de la *Aritmética* supervisa la disputa, decidiéndose claramente en favor de los algoristas, su manto está cubierto de los nuevos números (ver fig. 1.3). Posteriormente, el término "algoritmo" fue adoptado por los académicos de la alta cultura europea, como Leibniz, que lo usó para

definir su método de cálculo diferencial.[40] La *Encyclopédie* de D'Alembert definía "algoritmo" en términos generales:

> Como una palabra árabe, usada por varios autores, y en particular por los españoles, para referirse a la práctica del álgebra. También se la usa para referirse a la aritmética de dígitos [...]. Se usa la misma palabra para hablar en general del método y la notación de todo tipo de cálculos. En este sentido, hablamos del algoritmo del cálculo integral, el algoritmo del cálculo exponencial, el algoritmo de senos, etc.[41]

Las técnicas y trucos para calcular a mano, que todavía se enseñan en las escuelas hasta el día de hoy, son un conjunto de algoritmos para manipular signos numéricos. Poseen una estructura repetitiva que puede manejar dígitos infinitos y aproximados, como ocurre en la división simple de los números primos: 2/3= 0,666666666... La forma simple y continua de esta fracción muestra que ni siquiera los números racionales pueden calcularse y expresarse sin la ayuda de un algoritmo. Para ser más precisos, incluso la manera en que se escriben los números en un sistema de numeración constituye un algoritmo; en este caso, un algoritmo para representar cantidades simples. Por ejemplo, cuando escribimos el número 101 en números indo-arábigos, este signo simple debería traducirse como:

> Consideremos una secuencia lineal de posiciones ocupadas por símbolos de cantidad que van de derecha a izquierda. Cada posición representa incrementalmente una potencia de diez y puede ser ocupada por una de las diez unidades: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 o 9. La primera posición representa diez elevado a cero (es decir, las unidades normales), la segunda posición es diez elevado a uno (diez), la tercera posición es diez elevado al cuadrado (cien), etcétera. El valor de un número representado de esta manera está dado por la adición de cada unidad después de ser multiplicada por la potencia de diez, representada por la posición ocupada. Cuando los números se expresan de esta manera, la escala de las potencias de diez no se enuncia explícitamente, sino que permanece implícita.

[40] Ver también Sybille Krämer, "Zur Begründung des Infinitesimalkalküls durch Leibniz", *Philosophia Naturalis* 28, N° 2, 1991: 117-46; Peter Damerow y Wolfgang Lefèvre, "Wissenssysteme im geschichtlichen Wandel", en *Enzyklopädie der Psychologie. Themenbereich C: Theorie und Forschung*, ed. F. Klix y H. Spada, Serie II: Kognition, Band 6: Wissen, Göttingen: Hogrefe, 1998, 77-113.

[41] Citado en Chabert, *A History of Algorithms*, 2.

Por lo tanto, el número 101 es igual a: (1 × cien) + (0 × diez) + (1 × uno). Esta ampulosa explicación del sistema decimal en lenguaje natural puede adaptarse fácilmente para representar el sistema binario, simplemente cambiando la potencia de diez por la de dos; es decir, cambiando una regla del procedimiento general de numeración. En el sistema binario, el número 101 pasa a significar una cantidad diferente:

> Consideremos una secuencia lineal de posiciones ocupadas por símbolos de cantidad que van de derecha a izquierda. Cada posición representa incrementalmente una potencia de dos y puede ser ocupada por una de las dos unidades: 0 o 1. La primera posición representa dos elevado a cero (es decir, las unidades normales), la segunda posición es dos elevado a uno (dos), la tercera posición es dos elevado al cuadrado (cuatro), etcétera. El valor de un número representado de esta manera está dado por la adición de cada unidad después de ser multiplicada por la potencia de dos, representada por la posición ocupada. Cuando los números se expresan de esta manera, la escala de las potencias de dos no se enuncia explícitamente, sino que permanece implícita.

En este caso, el número 101 es igual a: (1 × cuatro) + (0 × dos) + (1 × uno), es decir, 5 en la notación decimal. En estas dos paráfrasis ampulosas, las palabras del lenguaje natural no se utilizan para explicar, sino para *codificar* reglas de construcción de números con un procedimiento de instrucciones paso a paso. Estas paráfrasis hacen visible el procedimiento de los sistemas de numeración que se enseña en las escuelas a través de la ejercitación y que, por lo general, queda sin expresar. Sin embargo, este ensayo pedante de los números decimales y binarios sirve para decir algo no pedante: todos los sistemas de numeración parecen ser algorítmicos por constitución. Al igual que cada palabra implica una gramática, cada número esconde un algoritmo; es decir, un procedimiento para representar cantidades y para realizar operaciones con cantidades. En conclusión, todos los números son *números algorítmicos* ya que están creados por esos algoritmos que son los sistemas de numeración. Los números no cuentan nada (por así decirlo); son simples portadores de una posición en un procedimiento —un algoritmo— de cuantificación.

La mecanización del algoritmo

Los algoritmos para el cálculo manual se fueron mecanizando gradualmente. En la Europa del siglo XVII, algunos filósofos naturales, como Pascal y Leibniz, diseñaron calculadoras manuales para automatizar las cuatro operaciones básicas con el sistema decimal. No todos estos dispositivos eran objetos para exhibir en un gabinete de curiosidades, sino que anunciaban cambios epistemológicos más profundos. En ese momento, el pensamiento moderno ya se había desarrollado en estrecha relación con las máquinas, hasta el punto de que es posible registrar que el pensamiento mecánico influyó también en el pensamiento filosófico. Por ejemplo, el famoso "Método" de razonamiento de Descartes parecía bastante "mecánico" porque hacía hincapié en descomponer un problema en elementos más sencillos. Según el economista polaco Henryk Grossmann, no fue casualidad que Descartes concibiera su método racional mientras diseñaba máquinas herramienta. Pero Grossmann también notó una relación más profunda entre las matemáticas y las máquinas: "toda regla matemática tiene [un] carácter mecánico que ahorra trabajo intelectual y agiliza el cálculo". Este principio económico —ahorrar tiempo, trabajo y recursos— sigue siendo un aspecto clave del pensamiento y las prácticas algorítmicas, tal como se ha explicado hasta ahora.[42]

Como se verá en el capítulo siguiente, en el contexto de la economía industrial de principios del siglo XIX, el primer algoritmo informático mecanizado fue el método diferencial ideado por De Prony para calcular grandes tablas logarítmicas, que Charles Babbage implementó en la máquina diferencial. La máquina diferencial se diseñó para incluir solo este tipo de algoritmos, pero Babbage también imaginó una máquina programable —la máquina analítica— que podía expresar diferentes tipos de ecuaciones (aunque nunca se concretó). Se considera que el primer algoritmo informático o "programa" fue el "diagrama para el cálculo de los números de Bernoulli" creado por Ada Lovelace, que fue escrito provisionalmente para la máquina analítica. Las máquinas de calcular de Babbage representan el punto de convergencia de los algoritmos de cálculo y la automatización industrial, aunque tuvieron graves dificultades para representar el sistema decimal mediante engranajes mecánicos.[43]

[42] Henryk Grossmann, "Descartes and the Social Origins of the Mechanistic Concept of the World", en *The Social and Economic Roots of the Scientific Revolution: Texts by Boris Hessen and Henryk Grossmann*, Berlin: Springer, 2009, 181.

[43] Ver capítulo 2.

En el siglo XX, los algoritmos para cálculo fueron automatizados de manera exitosa gracias a la flexibilidad del sistema binario.[44] Los números binarios son mucho más fáciles de implementar en un dispositivo eléctrico que los decimales en un mecanismo, porque el estado de una corriente eléctrica, encendida o apagada, puede representar directamente los dígitos 0 y 1. De esta manera, la ejecución de sumas y restas, por ejemplo, se simplifica muchísimo. Técnicamente, las operaciones binarias empezaron a adoptarse y a codificarse en máquinas eléctricas después de la publicación de la tesis de maestría del matemático estadounidense Claude Shannon, "A Symbolic Analysis of Relay and Switching Circuits" [Análisis simbólico de circuitos de conmutación y relés], en 1938.[45] Shannon propuso por primera vez usar las propiedades binarias de los interruptores eléctricos para representar no solo números binarios y sus operaciones, sino la lógica proposicional y, específicamente, los operadores lógicos booleanos Y, O y NO.

Después de la Segunda Guerra Mundial, el código binario, la arquitectura de Von Neumann y el diseño de puertas lógicas eficientes en microchips hizo posible la fabricación de computadoras rápidas y la formalización de algoritmos informáticos de mayor tamaño y complejidad. Por primera vez en la historia, las secuencias numéricas llegaron a representar no solo cantidades sino instrucciones.[46] La llamada "revolución informática" no se trataba solo de utilizar *números binarios* (dígitos binarios o bits) para codificar el lenguaje humano y los contenidos analógicos (digitalización), sino de acelerar el cálculo mecánico mediante la *lógica binaria* (o lógica booleana). Contrariamente al punto de vista general que subraya solo la separación entre *hardware* y *software*, la computación digital es en realidad la imbricación, en el mismo medio de información *e* instrucción, de los números binarios *y* la lógica booleana, una como forma complementaria de la otra. En otras palabras, con la computación digital, el algoritmo de numeración (números binarios) y el algoritmo de cálculo (lógica binaria) casi se han convertido en la misma cosa.

En la era digital, el algoritmo ha ascendido a la categoría de *máquina abstracta* (bajo las distintas denominaciones de programa, *software*, código, etcétera), que se usa para controlar las máquinas computadoras electrónicas. Como

[44] En la tradición occidental, Leibniz, inspirado por el I Ching chino, ya había sugerido la numeración binaria en su texto de 1689 *Explication de l'Arithmétique Binaire* [Explicación de la aritmética binaria].

[45] Claude Shannon, "A Symbolic Analysis of Relay and Switching Circuits", *Transactions of the American Institute of Electrical Engineers* 57, N° 12, 1938: 713-723.

[46] Gödel introdujo la idea de usar números para representar funciones matemáticas (*numeración de Gödel*) en sus famosos teoremas de incompletitud de 1931. Kurt Gödel, "Über formal unentscheidbare Sätze der Principia Mathematica und verwandter Systeme I", *Monatshefte für Mathematik und Physik* 38 (1931).

se mencionó al principio de este capítulo, la definición de "algoritmo" más conocida en la actualidad es la de la informática: "un procedimiento finito de instrucciones paso a paso para convertir los valores de entrada [*input*] en un resultado [*output*], independientemente de los datos y usando de la mejor manera los recursos dados".[47] La abstracción de la lógica a partir del contenido es uno de los aspectos clave del desarrollo técnico y cognitivo: como ocurre con otras técnicas de abstracción, un algoritmo tiene que funcionar independientemente de las limitaciones del entorno y del origen de los datos. Sin embargo, este capítulo ha cuestionado esta interpretación de la abstracción como separación del mundo y sus desarrollos históricos. De hecho, la aparición del aprendizaje automático ha invertido esta definición estática de algoritmo: los algoritmos de aprendizaje automático se han vuelto adaptativos y, a partir de conjuntos rígidos de reglas, ahora "aprenden" reglas a partir de los datos.

La definición canónica describe el algoritmo como la aplicación de reglas rígidas, de arriba hacia abajo, sobre datos de entrada. Los datos no afectan el comportamiento del algoritmo: simplemente son *información pasiva* que debe ser procesada mediante reglas. Por el contrario, los algoritmos de aprendizaje automático cambian sus reglas internas (llamadas parámetros) según los datos de entrada. De este modo, los datos dejan de ser pasivos, por así decirlo, para convertirse en *información activa* que influye en los parámetros del procedimiento paso a paso que, por lo tanto, ya no está estrictamente predeterminado por el algoritmo. El avance del aprendizaje automático consiste precisamente en este cambio: los algoritmos para el análisis de datos se vuelven dinámicos y cambian su rígida estructura inferencial para adaptarse a otras propiedades de los datos, por lo general, relaciones lógicas y espaciales. El ejemplo canónico es una red neuronal artificial para reconocimiento de patrones que cambia los parámetros de sus nodos de acuerdo con las relaciones entre los elementos de la matriz visual. En este sentido, la estructura de la mayoría de los algoritmos de IA más recientes no es diferente ni está alejada de las prácticas matemáticas antiguas que surgieron por la imitación continua de configuraciones de espacio, tiempo, trabajo y relaciones sociales.

Como observó el historiador de la ciencia Jürgen Renn, después de Damerow, los algoritmos de aprendizaje automático no son nada "sobrehumano",

[47] Chabert menciona otra definición de algoritmo, planteada por Robert McNaughton, que puede usarse como ejemplo de la osificación de los procesos sociales descritos anteriormente: 1) El algoritmo debe ser capaz de escribirse en un lenguaje definido. 2) La pregunta que se plantea viene determinada por datos de entrada, llamados entrada. 3) El algoritmo es un procedimiento que se lleva a cabo paso a paso. 4). La acción en cada paso está determinada estrictamente por el algoritmo. 5). Los datos de salida o respuesta (llamados salida) están especificados con claridad. Chabert, *A History of Algorithms*, 455.

sino que forman parte del ciclo de interiorización y exteriorización de las funciones cognitivas que es propio de todas las técnicas culturales:

> Después de todo, los algoritmos de aprendizaje automático [...] son simplemente una nueva forma de la exteriorización del pensamiento humano, aunque sean una forma particularmente inteligente. Al igual que otras representaciones externas anteriores, como las máquinas calculadoras, por ejemplo, en parte se hacen cargo —en una modalidad diferente— de funciones del cerebro humano. ¿Acabarán sustituyendo e incluso desplazando el pensamiento humano? La cuestión crucial para responder esta pregunta no es que su inteligencia general siga estando muy por detrás de la inteligencia humana e incluso la animal, sino que solo pueden desplegar todo su potencial dentro del ciclo de interiorización y exteriorización que [...] es el sello distintivo y la fuerza impulsora de la evolución cultural.[48]

El capítulo introductorio ayudó a ver en perspectiva el concepto de algoritmo, en su contexto histórico, así como también en la larga evolución de los sistemas de conocimiento. En resumen, fue, en primer lugar, la aceleración mercantil de finales de la Edad Media y, en segundo lugar, el surgimiento de la sociedad de la información lo que contribuyó a formalizar el algoritmo tal y como se lo conoce en la actualidad. Si buscamos una coincidencia lingüística, el término medieval *algorismus* marcó el cambio del sistema de numeración aditivo al posicional, mientras que el uso reciente del término "algoritmo" marcó el cambio de los números decimales a los binarios. No fueron simplemente cambios formales y técnicos, sino también económicos; después de todo, los números indo-arábigos y los algoritmos para el cálculo manual se adoptaron para simplificar la contabilidad y las transacciones mercantiles, mientras que los números binarios se adoptaron porque podían implementarse en circuitos eléctricos y puertas lógicas para acelerar la automatización industrial y la administración estatal. Así como la primera transición está relacionada con el mercantilismo primitivo, la segunda está vinculada con el capitalismo industrial, sobre todo en su exigencia para acelerar las tecnologías de la comunicación y automatizar el trabajo mental.[49]

[48] Renn, *The Evolution of Knowledge*, 398.

[49] Ver también Matteo Pasquinelli, "From Algorism to Algorithm: A Brief History of Calculation from the Middle Ages to the Present Day", *Electra* 15 (Invierno 2021-22): 93-102.

PRIMERA PARTE

La Era Industrial

2. BABBAGE Y LA MECANIZACIÓN DEL TRABAJO MENTAL

> Debemos recordar que otra ciencia, más elevada, aún más ilimitada, avanza a pasos agigantados [...]. Es la ciencia del cálculo, que se va volviendo cada vez más necesaria a cada paso de nuestro progreso y que, en última instancia, debe regir el conjunto de las aplicaciones de la ciencia a las artes de la vida.
>
> Charles Babbage, *Tratado de mecánica práctica y economía política*

La computación como división del trabajo

En Inglaterra, a principios del siglo XIX, "computador/a" no era el nombre de una máquina sino de un ser humano, es decir, un *empleado administrativo*, una mujer, por lo general, que tenía que hacer cálculos tediosos a mano para el gobierno, la Sociedad Astronómica o la Armada. A veces, las "computadoras" también trabajaban desde sus casas y recibían un montón de números para calcular y enviaban los resultados por correo: literalmente, esta fue la primera aparición histórica de una *red de computación* que adoptaba la forma de trabajo doméstico y probablemente involucraba a varios miembros de la familia. Con el objetivo de agilizar este proceso, que demandaba mucho tiempo y era propenso a errores, el polímata Charles Babbage tuvo la idea de reemplazar el trabajo repetitivo de muchas "computadoras" por una máquina automatizada, propulsada a vapor. Henry Colebrooke, al entregarle a Babbage la medalla de oro de la Sociedad Astronómica de Londres en 1823, por la invención de la máquina diferencial, declaró:

> En otros casos, los dispositivos mecánicos han sustituido a las máquinas por herramientas más sencillas o por el trabajo físico [...] Pero el invento

> al que me refiero [...] sustituye el trabajo mecánico por un proceso intelectual e industrial [...]. El invento del señor Babbage pone a una máquina en el lugar de una computadora [humana].[50]

La máquina diferencial de Babbage, celebrada como la precursora de las computadoras modernas, nació de una ambición empresarial: automatizar los cálculos de logaritmos y vender tablas logarítmicas sin errores, cruciales para la astronomía y para mantener la hegemonía británica en el comercio marítimo. Entre otros incentivos, fue el problema del cálculo de la longitud en alta mar el que dio un impulso especial al cálculo mecanizado. Ya existían pequeñas calculadoras mecánicas, pero no estaban automatizadas y solo resolvían las operaciones matemáticas básicas. Babbage tuvo la idea de conectar una compleja calculadora logarítmica con el movimiento continuo proporcionado por los motores a vapor, para no tener solo un dispositivo de cálculo, sino un *motor de cálculo* que pudiera establecer el negocio del cálculo a escala industrial, con las fantasías de rendimiento ilimitado y crecimiento económico sin trabas que la novedosa palabra "motor" conllevaba en esa época. La idea de la computadora automática, en el sentido contemporáneo, surgió del proyecto de mecanizar el trabajo mental de los empleados administrativos más que del viejo sueño alquímico de fabricar un autómata pensante; aunque esta última narrativa se utilizaría a menudo, tanto en el siglo XIX como en el siglo de la IA corporativa, para enmascarar el primer negocio.[51]

¿Qué tipo de "proceso intelectual" o trabajo mental pretendía mecanizar Babbage? Si queremos entender las limitaciones y las potencialidades de la computación, esta es una aclaración fundamental, sin la cual incluso la propia definición de IA podría amplificar malentendidos. El primer tipo de trabajo mental que pretendía mecanizar era el *cálculo manual*, una habilidad específica que persistió hasta el modelo de la máquina de Turing, que fue diseñada teniendo en mente la figura de una mecanógrafa humana (una "computadora") que leía y escribía cifras en una cinta, como en una estación de telégrafos. Como veremos en el capítulo 9, siguiendo las diferentes genealogías de la computación y la IA, ese no fue el caso con las redes neuronales artificiales para el reconocimiento

[50] Citado en Simon Schaffer, "Babbage's Intelligence: Calculating Engines and the Factory System", *Critical Inquiry* 21, N° 1, 1994: 203.

[51] Sobre una genealogía animista del autómata pensante en la era moderna, ver Minsoo Kang, *Sublime Dreams of Living Machines: The Automaton in the European Imagination*, Cambridge, MA: Harvard University Press, 2011. Sobre una genealogía teológica del diseño de máquinas, ver Ansgar Stöcklein, *Leitbilder der Technik; Biblische Tradition und technischer Fortschritt*, Munich: Moos, 1969.

de patrones, cuyo objetivo no era automatizar el cálculo manual, sino el trabajo de percepción y supervisión.

La máquina diferencial de Babbage era un artefacto peculiar. No era una computadora en el sentido contemporáneo, porque no distinguía el *software* del *hardware*, la instrucción de la información (ver fig. 2.1). Como era *hardware y software* a la vez, la máquina diferencial parece estéticamente intrigante, vista con ojos contemporáneos: sus engranajes de bronce y cilindros giratorios encarnaban físicamente un solo algoritmo, el "método diferencial" del matemático francés Gaspard de Prony, que se utilizaba para abreviar el cálculo de números cuadrados y logaritmos. La máquina diferencial tampoco era una computadora en el sentido contemporáneo, porque no era un dispositivo programable: el título de máquina industrial con entrada independiente de información pertenece al más modesto telar Jacquard.[52] El prototipo de la máquina diferencial nunca se terminó, mientras que del telar Jacquard se produjeron miles de unidades y se convirtió en un motor de la era industrial. El telar Jacquard estableció un estándar para el almacenamiento de información —la tarjeta perforada— que IBM mantendría sin apenas variaciones hasta el siglo XX.[53] Además, la primera "imagen digital" —es decir, una imagen descrita mediante un archivo numérico— resultó ser otro artefacto textil: un retrato del propio Jacquard en 1839 que se tejió utilizando 24.000 de esas tarjetas perforadas.[54] Babbage tenía una copia del retrato de Jacquard en su estudio y adoptó la tarjeta perforada como formato de entrada para otro prototipo que nunca se materializó —la máquina analítica—, cuyo diseño, a diferencia de su precursora, teóricamente separaba la información de la instrucción y podía evaluar diferentes tipos de ecuaciones.

La máquina diferencial no fue solo la invención de la solitaria mente especulativa de Babbage. Como observó Simon Schaffer, "lugares de inteligencia" de toda Inglaterra ayudaron a Babbage en sus experimentos con la computación mecánica y, en definitiva, fueron la base de su "inteligencia de las

[52] Según Frederick Pollock, mecanización se refiere a la automatización de la fuente de energía, mientras que automatización implica el papel independiente de la información en el proceso de producción. En ese entonces, el telar Jacquard era un ejemplo de automatización. Ver Frederick Pollock, *Automation: A Study of Its Economic and Social Consequences*, New York: Praeger, 1957. La automatización del componente de información ya se daba en los antiguos autómatas musicales. Ver Siegfried Zielinski y Eckhard Fürlus (eds.), *Variantology 4: On Deep Time Relations of Arts, Sciences, and Technologies in the ArabicIslamic World and Beyond*, Cologne: Walther König, 2008.

[53] Las tarjetas perforadas de IBM también se usaron en el censo de los judíos en la Alemania nazi. Ver Edwin Black, *IBM and the Holocaust: The Strategic Alliance between Nazi Germany and America's Most Powerful Corporation*, Washington: Dialog Press, 2001.

[54] Ada Lovelace, "Notes" to Luigi Menabrea, "Sketch of the Analytical Engine Invented by Charles Babbage", *Scientific Memoirs*, vol. 3, London: Richard y John E. Taylor, 1843.

máquinas".[55] Schaffer comenta que Babbage tenía una relación más íntima con las fábricas industriales como centros de conocimiento que con las universidades, que, en ese entonces, solo ofrecían planes de estudio conservadores y teóricos. Mientras que las hagiografías siguen retratándolo como un genio solitario, en realidad Babbage estuvo muy vinculado con el mundo industrial de la época y participó activamente de los debates de la emergente disciplina de la economía política. De hecho, escribió uno de los manuales industriales más influyentes de ese entonces: *On the Economy of Machinery and Manufactures* [Tratado de mecánica práctica y economía política] (1832).

El inicio del libro de Babbage también confirma que la división del trabajo aplicada, y no la matemática abstracta, es la "inventora" de la computación automatizada: "El presente volumen puede considerarse como una de las consecuencias de la máquina de cálculo, cuya construcción he supervisado durante mucho tiempo".[56] Esto es una prueba histórica de que, como una expresión de la división del trabajo, la computación acompañó el desarrollo del capitalismo industrial desde sus inicios, en lugar de ser un producto de sus últimos avances. Si bien Babbage intentó convencer a los lectores que el primer manual publicado sobre la gestión de la producción industrial se inspiraba en el proyecto del cálculo automatizado, un historiador materialista examinaría esa automitografía. ¿No fue más bien la cuestión de la organización del trabajo y de la insubordinación lo que promovió la invención de nuevas técnicas de disciplina y, por lo tanto, lo que impulsó a Babbage a buscar respuestas en los hornos de la Europa industrial?

Cálculo con relojes

En Inglaterra, el impulso específico para la mecanización del trabajo mental y la invención del cálculo automatizado se dieron por la necesidad de contar con tablas logarítmicas precisas que, en una época de agresiva expansión colonial, eran cruciales para orientarse en las rutas marítimas. Las tablas logarítmicas, usadas para calcular la longitud en alta mar, eran muy poco confiables debido a errores humanos, que causaban innumerables naufragios y grandes pérdidas comerciales. Las anécdotas hagiográficas cuentan que Babbage, meditando sobre los libros de logaritmos y comprobando sus numerosos errores, exclamó:

[55] Schaffer, "Babbage's Intelligence", 204.

[56] Babbage, *On the Economy of Machinery*, 1.

"Ojalá estos cálculos se hubieran ejecutado a vapor".[57] Sin embargo, el primer proyecto para acelerar el cálculo de las tablas logarítmicas no se concretó en Inglaterra, sino en Francia, en 1791, donde el gobierno revolucionario se dedicó a reformar el sistema de medición oficial para adoptar el sistema métrico, invirtiendo en lo que Lorraine Daston (para establecer una analogía con los "datos masivos" actuales) denomina "cálculos masivos".[58] Siguiendo un plan ambicioso para tomar el sistema métrico decimal como el estándar para los cálculos angulares, el gobierno le pidió a Gaspard de Prony que diseñara la división del ángulo recto en 100 en lugar de 90 grados, un proyecto que requería de la conversión logarítmica de las viejas fracciones radiales en otras nuevas. A pesar de que el plan de reforma angular fracasó y que la milenaria división del tiempo ideada por los sumerios sigue siendo un estándar planetario hasta la actualidad, el intento impulsaría el nacimiento del cálculo automatizado.

El economista escocés Adam Smith escribió una famosa descripción de la división del trabajo en la fabricación de alfileres en *La riqueza de las naciones*. La descripción de Smith de la división del trabajo inspiró a De Prony, quien diseñó en consecuencia una especie de *algoritmo colectivo* para el cálculo de logaritmos. De Prony concibió un flujo de trabajo que se organizaba como una pirámide social: en el vértice ubicó a una clase de matemáticos que formularían el problema y lo pasarían a la siguiente clase, los "algebristas"; estos prepararían entonces operaciones y datos simples para una tercera clase de computadoras humanas que realizarían los cálculos en hojas de papel, que después las enviarían de vuelta a sus superiores (ver fig. 2.2). Estudiantes, a menudo mujeres, y, a veces, "una gran cantidad de peluqueros desempleados se usaban para completar los números en las hojas sumando y restando".[59] El algoritmo de De Prony aplicaba el método de las diferencias ya mencionado, que se basa en el hecho de que la diferencia entre los cuadrados de números consecutivos permanece constante y la interpolación de los cuadrados siguientes puede alcanzarse fácilmente mediante simples sumas y restas en lugar de multiplicaciones complejas.[60]

[57] Babbage en noviembre de 1839, recordando hechos sucedidos en 1821; citado en Harry Wilmot Buxton, *Memoir of the Life and Labours of the Late Charles Babbage*, ed. Anthony Hyman, Cambridge, MA: MIT Press, 1987.

[58] Lorraine Daston, "Calculation and the Division of Labor, 1750-1950", *Bulletin of the German Historical Institute* 62 (Primavera de 2018).

[59] Ivor Grattan-Guinness, "Charles Babbage as an Algorithmic Thinker", IEEE Annals of the History of Computing 3, 1992: 40.

[60] En realidad, las funciones logarítmicas y trigonométricas no siempre mantienen una diferencia constante de manera continua. Por lo tanto, el método de las diferencias es una aproximación heurística que solo es válida para rangos específicos.

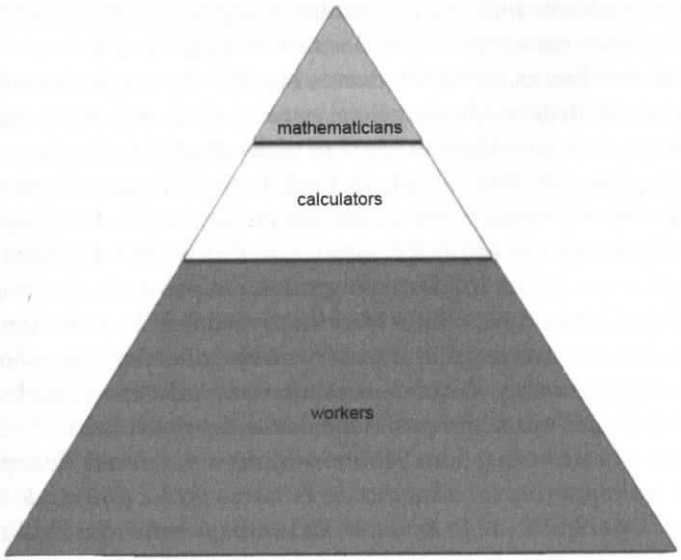


Figura 2.1. Esquema para la implementación del algoritmo de De Prony como división del trabajo. Lorraine Daston, "Calculation and the Division of Labor, 1750-1950", *Bulletin of the German Historical Institute* 62 (Primavera de 2018): 11.

Babbage tuvo la idea de reemplazar la tercera clase de trabajadores de la pirámide de cálculo por una máquina, ya que repetían tareas tediosas de sumas y restas de una diferencia simple. Finalmente, el método de las diferencias proporcionaría el algoritmo y el nombre de la máquina de Babbage: la máquina diferencial. Como ya hemos mencionado, en esa época, ya existían calculadoras mecánicas para operaciones básicas y eran manuales. A Babbage se le ocurrió implementar este algoritmo específico en un dispositivo mecánico y aplicar un motor a vapor como fuente de movimiento para convertir el cálculo de tablas logarítmicas en un negocio industrial a gran escala. Una vez que se ponía en marcha la máquina diferencial, se suponía que calculaba toda una tabla logarítmica sin detenerse. El proyecto de Babbage era un artilugio fascinante que pretendía dotar de una potencia de cálculo ilimitada a engranajes y ruedas de bronce y madera. En la actualidad, puede que el uso de vapor como fuente de energía para calcular solo perdure en el género de ciencia ficción *steampunk*, pero en la época de Babbage suponía aventurarse en un mundo muy distinto del que habitamos hoy: uno en el que el cálculo automatizado funcionaría sin electricidad.

El primer prototipo de la máquina diferencial de Babbage funcionaba a mano. Es interesante notar que el primer dispositivo que asumiría el papel de traducir a la "materia" el algoritmo de De Prony para el cálculo manual fue uno bien conocido: el reloj (ver fig. 2.2). Babbage publicó el concepto general de la máquina diferencial en el capítulo, a menudo olvidado, "On the Division of Mental Labour" [Sobre la división del trabajo mental], de su libro de 1832. Allí, proponía "lo que quizás les parezca paradójico a algunos lectores: que la división del trabajo puede aplicarse con el mismo éxito a las operaciones mentales, y que su adopción asegura la misma economía de tiempo".[61] Siguiendo el método de las diferencias de De Prony, Babbage descompuso el cálculo de tablas logarítmicas en pasos modulares y los implementó en un nuevo algoritmo mecánico. Las tres columnas de la tabla del método de las diferencias estaban representadas por relojes que Babbage, posteriormente, implementó como cilindros giratorios. En el primer prototipo funcional de la máquina diferencial (circa 1833), la rotación paso a paso de los "relojes" cilíndricos reemplazaba los movimientos de una mano, sumando dígitos en un papel. El reloj desempeñaba aquí el papel ejemplar de mediador heurístico entre el sistema de numeración y el algoritmo de cálculo. Si se buscaba la automatización por la necesidad de ahorrar tiempo, es emblemático que se usara el reloj para implementarla. También es revelador que, después ser usada para medir la productividad del trabajo manual en las fábricas, la manecilla del reloj sirviera para automatizar el propio cálculo manual.

Esos relojes cilíndricos se diseñaron para recibir un número como una rotación por incrementos, sumarlo a un número anterior de incrementos y dar un resultado total bajo la forma de otra rotación por incrementos. Sin embargo, este movimiento estaba cautivo dentro de un mecanismo que podía realizar, de manera irreversible, solo una operación grande y continua. Así como no distinguían el *hardware* del *software*, los relojes cilíndricos de Babbage tampoco distinguían realmente los números de los procesos o la memoria de las operaciones. Esas dos funciones se separarían en el diseño de la máquina analítica (y después en las computadoras modernas, como la división entre memoria y unidad central de procesamiento). Otra limitación a la que se enfrentaba el algoritmo mecánico de Babbage era el propio sistema decimal y el problema de automatizar el acarreo en la posición de las decenas, que afectaba al cálculo mecánico desde la época de Pascal.[62] Debemos recordar que el sistema binario

[61] Babbage, *On the Economy of Machinery*, 153.

[62] Sobre el centenario problema de mecanizar el acarreo, ver Matthew L. Jones, *Reckoning with Matter: Calculating Machines, Innovation, and Thinking about Thinking from Pascal to Babbage*, Chicago: University of Chicago Press, 2017.

fue implementado (gracias a Leibniz, Boole, Turing, Shannon y Von Neumann, entre otros) debido a que simplifica técnicamente la suma y la resta. Un interruptor eléctrico puede estar encendido o apagado, y esos dos estados representan todas las unidades de numeración necesarias (ver capítulo 6). Por otro lado, los engranajes de la máquina diferencial tenían dificultades para contener diez números, y Babbage intentó resolver el problema del resto mediante un sofisticado pero torpe retorno de carro.

Como describió Matthew Jones, para Babbage así como para muchos filósofos-inventores de la Edad Moderna, la empresa del cálculo mecánico no debía distinguirse de la filosofía natural, cuyo objetivo era "calcular con la materia", precisamente por la razón de que contar se consideraba una actividad mental inferior, algo que las clases "mecánicas" (o su equivalente en máquinas) tenían que realizar para las clases superiores. De hecho, la mayoría de los filósofos naturales modernos (dejando de lado a Hobbes) sostenían que la mente no podía reducirse a un mecanismo.[63] Por lo tanto, en este clima político, el trabajo mental podía automatizarse porque era una tarea de la clase trabajadora, y no se lo consideraba "pensamiento" propiamente dicho.

Principios del análisis del trabajo

Aunque la máquina diferencial fácilmente despierta fascinación en los historiadores de la ciencia y la tecnología victorianas, Babbage debería ser recordado menos por la máquina en sí que por los principios de la división del trabajo que inspiraron su diseño. Algunos historiadores de la ciencia, como Daston y Schaffer, contribuyeron a cuestionar el estatus de la máquina diferencial como violín solista de los primeros cálculos automatizados y, en cambio, hicieron visible, en el escenario de la era industrial, a una protagonista menos seductora pero más lógica: la división del trabajo y su jerarquía social. Schaffer destacó que la "inteligencia de las máquinas" de Babbage procedía de las "manos conscientes" de trabajadores, artesanos y mecánicos que construían artilugios experimentales, como hemos visto anteriormente, en "lugares de inteligencia" como talleres y fábricas en lugar de academias reales. Como detalla Jones, Babbage buscó públicamente "la esperanza de descubrir una teoría filosófica de la invención" expresada por Francis Bacon.[64] Sin embargo, el secreto de su máquina de calcular no era tanto la imitación de la presciencia de Dios (como

[63] Ver Jones, *Reckoning with Matter*; Daston, "Calculation and the Division of Labor".

[64] Jones, *Reckoning with Matter*, 1.

Repetitions of Process.	Movements.	Clock A. — Hand set to I.	Clock B. — Hand set to III.	Clock C. — Hand set to II.
		TABLE.	First difference.	Second difference.
1	Pull A.	A. strikes 1	. . . . .	. . . .
	— B.	The hand is advanced (by B.) 3 divisions . .	B. strikes 3	. . . .
	— C.	. . . . .	The hand is advanced (by C.) 2 divisions . .	C. strikes 2
2	Pull A.	A. strikes 4	. . . . .	. . . .
	— B.	The hand is advanced (by B.) 5 divisions . .	B. strikes 5	. . . .
	— C.	. . . . .	The hand is advanced (by C.) 2 divisions . .	C. strikes 2
3	Pull A.	A. strikes 9	. . . . .	. . . .
	— B.	The hand is advanced (by B.) 7 divisions . .	B. strikes 7	. . . .
	— C.	. . . . .	The hand is advanced (by C.) 2 divisions . .	C. strikes 2
4	Pull A.	A. strikes 16	. . . . .	. . . .
	— B.	The hand is advanced (by B.) 9 divisions . .	B. strikes 9	. . . .
	— C.	. . . . .	The hand is advanced (by C.) 2 divisions . .	C. strikes 2
5	Pull A.	A. strikes 25	. . . . .	. . . .
	— B.	The hand is advanced (by B.) 11 divisions .	B. strikes 11	. . . .
	— C.	. . . . .	The hand is advanced (by C.) 2 divisions . .	C. strikes 2
6	Pull A.	A. strikes 36	. . . . .	. . . .
	— B.	The hand is advanced (by B.) 13 divisions .	B. strikes 13	. . . .
	— C.	. . . . .	The hand is advanced (by C.) 2 divisions . .	C. strikes 2

Figura 2.2. Diseño para la implementación del algoritmo de De Prony en un mecanismo. Charles Babbage, *On the Economy of Machinery and Manufactures*, London: Charles Knight, 1832, 161.

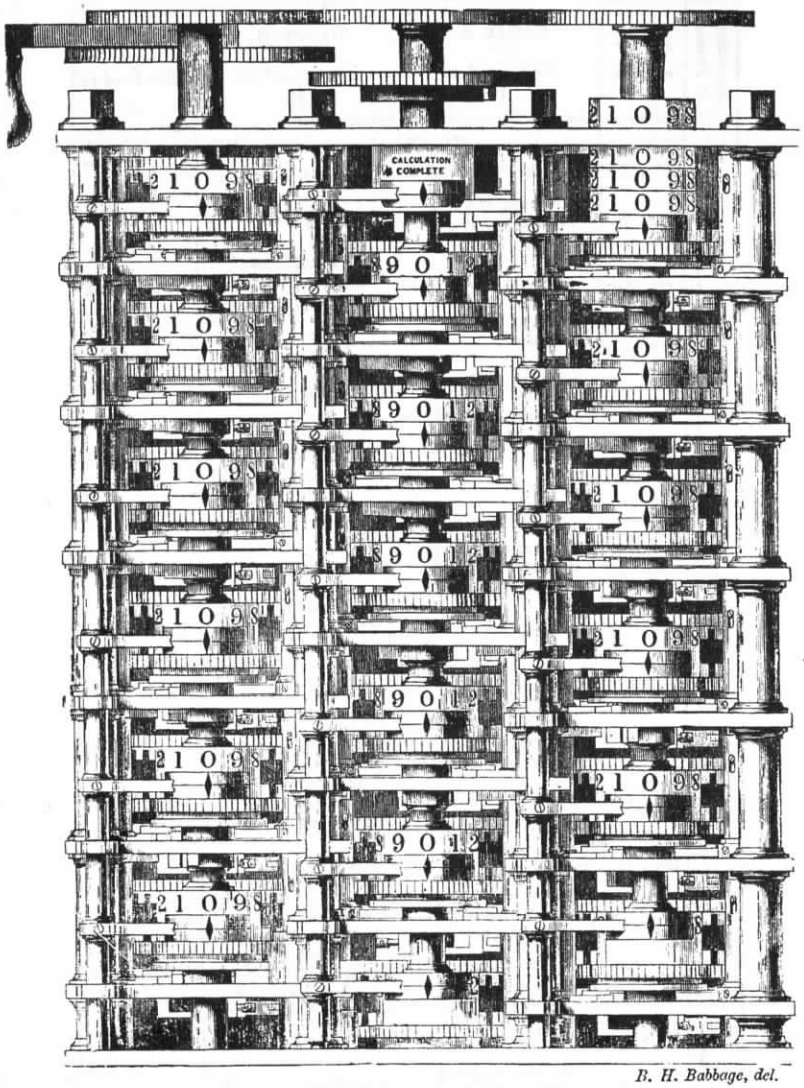


Figura 2.3. La máquina diferencial de Babbage. Charles Babbage, *Passages from the Life of a Philosopher*, London: Longman, Roberts & Green, 1864, portada.

argumentaba Babbage),[65] sino el día a día de esos talleres y fábricas, compuesto por continuos fracasos y conflictos con los trabajadores, incluida la insubordinación del propio equipo de Babbage. Por lo tanto, para entender mejor el diseño de las máquinas de Babbage y su calidad de "inteligencia de las máquinas", es necesario explicar sus dos principios de análisis del trabajo: (1) la *teoría laboral de la máquina*, que establece que una nueva máquina viene a imitar y sustituir a una división del trabajo previa; y (2) el *principio del cálculo del trabajo* (denominado habitualmente "principio de Babbage"), que afirma que la división del trabajo permite calcular y adquirir exactamente la cantidad de trabajo necesaria.

Como fundador de la economía moderna, Adam Smith fue el primero en esbozar una teoría laboral de la máquina en *La riqueza de las naciones* (1776) cuando reconoció que se "inventaban" nuevas máquinas imitando la organización de tareas del lugar de trabajo: "La invención de todas esas máquinas que tanto facilitan y reducen el trabajo parece deberse originalmente a la división del trabajo".[66] Mientras que la herramienta independiente surge de la repetición de una actividad manual simple, la máquina emerge del ensamblaje de esas herramientas. Dada su mayor experiencia técnica, Babbage formuló mejor esa idea en su obra *On the Economy of Machinery and Manufactures*:

> Quizás el principio más importante del que depende la economía de un fabricante es el de la *división del trabajo* entre las personas que realizan el trabajo [...]. La división del trabajo sugiere la invención de herramientas y maquinaria para ejecutar sus procesos [...]. Cuando cada proceso se ha reducido al uso de una herramienta simple, la unión de todas esas herramientas, accionadas por una fuerza motriz, constituye una máquina.[67]

La teoría laboral de la máquina se basa en un postulado tanto técnico como económico, según el cual una máquina surge solo después de probar una coordinación de herramientas que resulta exitosa para la producción y la reducción de costos. Si Smith y Babbage están en lo cierto, y una máquina surge como la

[65] Charles Babbage, *Ninth Bridgewater Treatise*, London: John Murray, 1838.

[66] Adam Smith, *The Wealth of Nations* (1776), libro 1, capítulo 1. El pasaje continúa: "Una gran parte de las máquinas utilizadas en las fábricas en las que el trabajo está más subdividido, fueron originalmente inventos de obreros comunes, quienes, estando cada uno de ellos dedicado a una operación muy simple, naturalmente dirigieron sus pensamientos hacia la búsqueda de métodos más fáciles y rápidos de realizarla". Smith agrega que la invención de una nueva máquina se debe a sus propios usuarios y a "filósofos" (científicos e ingenieros, en la jerga de la época). Ver Tony Aspromourgos, "The Machine in Adam Smith's Economic and Wider Thought", *Journal of the History of Economic Thought* 34, N° 4 (2012): 475-90.

[67] Babbage, *On the Economy of Machinery*, 131-6.

experimentación y la implementación de una división colectiva del trabajo, pasa inmediatamente a primer plano una cuestión política: ¿Quién es en realidad el inventor de la máquina? ¿Quién puede atribuirse la invención? ¿Los trabajadores, los dueños de la fábrica, los ingenieros, o la orquestación de todos esos actores? ¿A quién pertenece el derecho de esa división colectiva del trabajo? Esos fueron temas reales y muy debatidos en la llamada "Cuestión de la Maquinaria" del siglo XIX (ver capítulo 3).

Una contribución adicional de Babbage fue la de enmarcar la *teoría laboral de la máquina* —es decir, que una máquina imita y reemplaza una división del trabajo previa— en términos de planificación económica. De hecho, la propia división del trabajo no solo surgió para organizar mejor el trabajo en tareas modulares, sino que también para medir con precisión (para calcular, computar, sentimos la tentación de decir) el *costo* de cada tarea. El llamado principio de Babbage está formulado canónicamente en el párrafo siguiente:

> El dueño de la fábrica, al dividir el trabajo para que sea ejecutado en distintos procesos, cada uno de los cuales requiere distintos grados de cualificación y fuerza, puede adquirir exactamente esa cantidad precisa de ambos según lo necesario para cada uno; mientras que, si todo el trabajo fuera ejecutado por un solo trabajador, esa persona debe poseer la cualificación suficiente para realizar las más difíciles, y la fuerza suficiente para ejecutar las más arduas, de las operaciones en las cuales se divide el trabajo.[68]

El principio de Babbage afirma que la organización de un proceso de producción en tareas pequeñas (la división del trabajo) permite calcular y adquirir con precisión la cantidad de trabajo necesaria para cada tarea (la división del valor). La división del trabajo establece una perspectiva privilegiada para la vigilancia del trabajo, pero también ayuda a modular la extracción del plustrabajo de cada trabajador según las necesidades. En términos más analíticos, el principio de Babbage plantea que el diagrama abstracto de la división del trabajo ayuda a organizar la producción y, a la vez, ofrece un *instrumento* para medir el valor del trabajo. En este sentido, la división del trabajo no solo proporciona el diseño de la maquinaria, sino también el plan de negocios.

Una teoría fundamental del cálculo automatizado surgió de la forma en que Babbage aplicó sus principios de cálculo del trabajo a la división del trabajo mental. En particular, ya veía la fábrica como una especie de economía del

[68] Ibid., 137.

conocimiento de la cual extraer la "cantidad exacta de cualificación y conocimientos que se requiere" de cada trabajador:

> El efecto de la división del trabajo, tanto en los procesos mecánicos como mentales, es que nos permite adquirir y aplicar a cada proceso de manera precisa la cantidad de cualificación y conocimientos requeridos para llevarlo a cabo: evitamos emplear cualquier fracción de tiempo de un hombre que puede obtener ocho o diez chelines al día por su habilidad para templar agujas, para hacer girar una rueda, lo que puede hacerse por seis peniques al día; e igualmente evitamos la pérdida derivada de emplear a un matemático consumado para realizar los procesos más bajos de la aritmética.[69]

Combinando ambos principios de Babbage, se podría decir que la computación surgió tanto de la *automatización* de la división del trabajo mental como del *cálculo de los costos* de dicho trabajo. Podríamos postular que, según la lógica de la computación, la automatización del trabajo y el cálculo del costo del trabajo terminan convirtiéndose en lo mismo. Después de todo, computar significa medir los costos del trabajo en términos de tiempo, espacio, energía, recursos y capital. Eso, desde el punto de vista del capital, muchas veces pasa por alto el "costo humano" de ese trabajo. Como observó el historiador de la ciencia Norton Wise, la división del trabajo

> es, en realidad, una de las jerarquías del trabajo, más que una mera división [...]. Separa la habilidad de la fuerza bruta para que el fabricante no tenga que pagar por ellas de manera simultánea [...]. Pero ese único principio se aplica a toda la jerarquía, tanto a las máquinas como a los trabajadores humanos, tanto al trabajo mental como al físico, y exige que las cantidades y los tipos de todos los orígenes se asignen de forma que se minimicen los costos de producción. Es un principio de la organización interna de una fábrica [...] que Babbage buscó generalizar para toda la economía política.[70]

Lo que implicaban los principios de análisis del trabajo de Babbage era una mayor discriminación entre trabajadores cualificados y no cualificados y la "automatización", en definitiva, de las jerarquías sociales del conocimiento. En

[69] Ibid., 162.

[70] Norton Wise y Crosbie Smith, "Work and Waste: Political Economy and Natural Philosophy in Nineteenth Century Britain" (parte 2), *History of Science* 27, N° 4, 1989: 411. "Jerarquía" como sustantivo colectivo figura en el original.

conclusión, la teoría laboral de la máquina planteada por Babbage es sumamente importante cuando se la combina con su principio del cálculo del trabajo: en conjunto, parecen definir la máquina industrial no solo como un aparato productivo sino como un instrumento de medición del trabajo. Finalmente, el principio de Babbage representa una *teoría maquínica del valor*, es decir, un modelo para representar y calcular mecánicamente los costos laborales y las inversiones de capital. De manera muy formalizada, puede decirse que la teoría laboral de la máquina y la teoría maquínica del valor forman conjuntamente un principio tecnoeconómico según el cual la división del trabajo construye la máquina para lograr un cálculo y una extracción más precisos de la plusvalía.

Inteligencia analítica y semiótica de las máquinas

Al reflexionar sobre herramientas averiadas, engranajes desiguales y máquinas incompletas, Babbage se encontró en una situación no infrecuente para muchos otros inventores: necesitaba codificar un lenguaje artificial para mejorar y acelerar el diseño. En *On the Economy of Machinery*, escribió:

> Es posible construir toda la máquina en papel y juzgar la fuerza adecuada que debe darse a cada parte, así como también al armazón que la sostiene, y además su efecto final, mucho antes de que se haya ejecutado una sola de sus partes. De hecho, todo el dispositivo, y todas las mejoras, deberían representarse primero en los dibujos.[71]

Como observó Jones, las esperanzas analíticas de Babbage pronto chocaron contra las contingencias de la implementación y la necesidad de cooperación humana. En su autobiografía, el mismo Babbage admitió que "para economizar mi propio trabajo mental era necesario contar con dibujantes del más alto nivel, mientras que para ejecutar la maquinaria experimental me veía obligado a recurrir constantemente a obreros cualificados".[72] El proyecto de Babbage de una "semiótica de las máquinas" (como la llamó Schaffer) amplió sus principios del análisis del trabajo y expresó una intuición similar a la que autores más recientes han definido alternativamente como "pensamiento mecánico", "pensamiento computacional" o "pensamiento algorítmico".[73]

[71] Babbage, *On the Economy of Machinery*, 207.

[72] Charles Babbage, *The Works of Charles Babbage*, vol. 11, ed. Martin Campbell Kelly, London: Pickering, 1989, 85.

Después de basar las máquinas calculadoras en el análisis de la división del trabajo mental, Babbage intentó establecer un sistema de notación para el diseño de máquinas sobre principios similares. Para articular mejor su forma lógica, el diseño de las máquinas calculadoras exigía un metalenguaje simbólico (una representación de segundo orden), que Babbage denominó "notación mecánica". Babbage expresó este proyecto en dos textos: "On a Method of Expressing by Signs the Action of Machinery" [Un método para expresar mediante signos la acción de la maquinaria] (1826) y "Laws of Mechanical Notation" [Leyes de la notación mecánica] (1851).[74] Babbage ya tenía clara la dimensión epistemológica de la construcción de máquinas en otra nota de 1851:

> No es una mala definición de hombre describirlo como un animal fabricante de herramientas. Sus primeros inventos para mantener la vida incivilizada eran herramientas de la manufactura más sencilla y rudimentaria. Sus últimos logros en la sustitución de la maquinaria, no solo por la habilidad de la mano humana, sino por el alivio del intelecto humano, se basan en el uso de herramientas de un orden aún más elevado.[75]

El propósito de la notación mecánica era representar diagramas dinámicos de los estados de la máquina, más allá de los estáticos dibujos tradicionales. Considerando la naturaleza de estas máquinas calculadoras, la notación mecánica de Babbage puede ser considerada como la etapa embrionaria de lo que, más tarde, llegarían a ser los diagramas de flujo y los lenguajes de programación de las computadoras digitales del siglo xx. La equivalencia lógica entre la notación mecánica de Babbage y el lenguaje digital de las computadoras no es una coincidencia: en realidad, para la última es posible emular a la primera.[76]

[73] Sobre la "semiótica de las máquinas", ver Simon Schaffer, "Babbage's Intelligence: Calculating Engines and the Factory System", *Critical Inquiry* 21, N° 1, 1994: 207. Sobre el pensamiento mecánico, ver el trabajo del Departamento 1 del Instituto Max Planck para la Historia de la Ciencia, en Berlín, dirigido por Jürgen Renn. Por ejemplo: Rivka Feldhay et al. (eds), *Emergence and Expansion of Preclassical Mechanics*, vol. 270, Berlin: Springer, 2018. Sobre la expresión "pensamiento computacional" que ahora es tan popular, ver Jeannette Wing, "Computational Thinking", CACM *Viewpoint* 49, N° 3 (March, 2006).

[74] Charles Babbage, "On a Method of Expressing by Signs the Action of Machinery", F.R.S. Philosophical Transactions, 16 de marzo de 1826; "Laws of Mechanical Notation", julio de 1851. Ver también Henry P. Babbage "Mechanical Notation, exemplified on the Swedish Calculating Machine", Glasgow: British Association, septiembre de 1855.

[75] Charles Babbage, *The Exposition of 1851*, London: John Murray, 1851.

[76] Doron Swade formalizó la notación de Babbage en lenguaje de programación propiamente dicho. Ver Doron Swade, "Project Report to Computer Conservation Society Committee", London, 19 de marzo de 2015.

La idea de la notación mecánica también debe contextualizarse como parte del ambiente intelectual de la época de Babbage, y en particular, la controversia sobre la aparición del análisis matemático en las universidades británicas en contraposición a los planes de estudios tradicionales de geometría. En la Universidad de Cambridge, a principios del siglo XIX, estalló una disputa entre los geómetras, orgullosos de sus conocimientos prácticos, y los nuevos *algebristas*. Se acusó a estos últimos de limitarse a adoptar una postura de moda en Francia —llamada "Análisis" — que los enredaba en abstracciones que no tenían ninguna utilidad práctica. Sin embargo, con la irrupción del capitalismo industrial en el Reino Unido, puede considerarse que la llegada del pensamiento "analítico" a los ámbitos académicos recuerda otra forma de "análisis" igualmente urgente para la época: el *análisis del trabajo*. Efectivamente, el análisis matemático pareció alentado por la demanda económica de más inteligencia analítica sobre el trabajo y las máquinas. Como veremos en el capítulo 4, incluso Marx adoptó la terminología de Babbage, cuando escribió en los *Grundrisse* que el mejor método para diseñar máquinas no es la aplicación de la ciencia (el "análisis de la naturaleza") a la industria, sino "el análisis a través de la división del trabajo".[77]

Con respecto al proceso de invención, Babbage sugirió un diseño tripartito: (1) el análisis del diseño de la máquina a través de sus componentes; (2) la simplificación del diseño de la máquina; y (3) la implementación del diseño simplificado, que, por lo general, implica ajustes adicionales.[78] La naturaleza algorítmica de este método se manifiesta en la centralidad que se le da al proceso de simplificación, que lo hace equivalente a un método de optimización y economización de recursos. En su última autobiografía, *Passages from the Life of a Philosopher* [Pasajes de la vida de un filósofo], Babbage destacó, como era de esperarse, que la economía de tiempo —que es clave para la división del trabajo y el diseño de máquinas— también es fundamental para que los programas de cálculo se ejecuten en la máquina analítica (un principio conocido en la actualidad como *eficiencia algorítmica*): "En cuanto exista una máquina analítica, necesariamente guiará el curso futuro de la ciencia. Cada vez que se busque un resultado con su ayuda, se planteará la pregunta: ¿Con qué método de cálculo puede la máquina obtener estos resultados en el *menor tiempo posible*?".[79] Por lo tanto, Babbage no solo era el matemático que retrata la mayoría de sus biógrafos, sino ya un "pensador algorítmico", porque el principio

[77] Karl Marx, *Grundrisse: Foundations of the Critique of Political Economy*, London: Penguin 1973, 704.

[78] Mark Priestley, *A Science of Operations: Machines, Logic, and the Invention of Programming*, Berlin: Springer, 2011, 29.

[79] Charles Babbage, "Of the Analytical Engine", en *Passages from the Life of a Philosopher*, London: Longman, 1864, 137.

de optimización del diseño y de ahorro de recursos era clave para sus máquinas (no terminadas) tanto como para sus algoritmos (especulativos).[80]

La notación mecánica de Babbage surgió, esencialmente, del análisis del trabajo. Si el diseño del proceso de trabajo forja el diseño de la máquina, entonces, de manera similar, el propio diseño de la máquina inspira el lenguaje de máquina como una representación de segundo orden. Como se aclaró en el capítulo 1, el andamiaje de niveles adicionales de *abstracción* en el diseño de máquinas industriales es típico del desarrollo de técnicas culturales. Los principios de Babbage son específicamente principios de la "inteligencia analítica" del trabajo que también pueden servir para iluminar la historia de la IA en el siglo siguiente, como una continua implementación y automatización de tareas para realizar un trabajo.[81] En resumen, la inteligencia analítica del trabajo es lo que le da fundamento a la inteligencia analítica de la máquina.

Ada Lovelace: Cuando las computadoras eran mujeres

Babbage no era un genio solitario. A partir de la publicación de la antología *Faster than Thought* [Más rápido que el pensamiento] (1953), escrita por Bertram Bowden, se fue reconociendo cada vez más la figura de Ada Lovelace y su contribución a los proyectos de Babbage.[82] Efectivamente, en la actualidad hay más y más libros que, mientras pasan por alto el papel de otras mujeres "sumidas en el anonimato" en el negocio del cálculo de esa época, la celebran como la "primera mujer programadora de la historia".[83] Lovelace, hija del poeta Lord Byron y Anne Isabella Milbanke, una matemática muchas veces olvidada, era una apasionada de la notación algebraica conocida en esa época como "Análisis", tanto que incluso se dio a sí misma el título futurista de "analista".[84] Esa pasión por las matemáticas y la notación abstracta la llevó a conocer a Babbage.

[80] Ivor Grattan-Guinness, "Charles Babbage as an Algorithmic Thinker", IEEE *Annals of the History of Computing* 3 (1992).

[81] Sobre la definición de "inteligencia analítica", ver Daston, "Calculation and the Division of Labor".

[82] Bertram Bowden, *Faster than Thought: A Symposium on Digital Computing Machines*, London: Pitman, 1953.

[83] Ver Joan Baum, *The Calculating Passion of Ada Byron*, Hamden, CT, Archon Books, 1986; James Essinger, *A Female Genius: How Ada Lovelace Started the Computer Age*, London: Gibson Square Books, 2013; Doris L. Moore, *Ada, Countess of Lovelace: Byron's Legitimate Daughter*, New York: Harper & Row, 1977; Betty Alexandra Toole (ed.), *Ada, the Enchantress of Numbers: A Selection from the Letters of Lord Byron's Daughter and Her Description of the First Computer*, Mill Valley, CA: Strawberry Press, 1992.

[84] Si bien ahora distinguimos entre *análisis simbólico* (es decir, el álgebra) y análisis numérico (es decir, el estudio de los algoritmos) porque responden a diferentes procedimientos de simbolización y razonamiento,

Lovelace ayudó a Babbage a diseñar la máquina analítica y escribió el primer programa informático del que se tiene registro. A pesar de que la máquina analítica nunca se concretó, el programa virtual de Lovelace, entendido como un conjunto de instrucciones para ser ejecutadas por una máquina, es considerado el primer ejemplo de algoritmos actuales, aunque ella nunca usó el término "algoritmo" para denominar al programa, sino que lo llamó "diagrama". Su "diagrama para el cálculo de los números de Bernoulli" se encuentra en las "Notas" del artículo "Sketch of the Analytical Engine Invented by Charles Babbage" [Esbozo de la máquina analítica inventada por Charles Babbage] escrito por Luigi Menabrea.[85] El autor (que se convertiría en primer ministro de Italia en 1867) se encontró con Babbage en Turín cuando era un joven matemático y escribió un informe sobre la máquina analítica. Posteriormente, Babbage le pidió a Lovelace que tradujera del francés el texto de Menabrea, y ella lo expandió con un apéndice que resultó ser más extenso que el texto principal.

Estas "Notas" constituyen un hito en la historia de la informática, ya que esbozan postulados embrionarios de lo que en el siglo xx se conocería como "ciencias de la computación" y que en su época Lovelace definió como "ciencia de las operaciones".[86] Su intención era distinguir entre la estructura lógica y mecánica de la máquina, o entre el *software* y el *hardware*, como se diría hoy en día. Considerando como sustrato los mecanismos que hicieron posibles esas capacidades lógicas, detalló las mejoras con respecto a su predecesora, la máquina diferencial (que, como mencionamos, implementaba un solo algoritmo). Por lo tanto, podemos decir que Lovelace se dedicó a la ambiciosa y compleja tarea de describir la máquina analítica como la primera *computadora de uso general*, como se la denomina en la actualidad.

Al imaginar una máquina lógica que pudiera expresar todas las ecuaciones posibles y su evaluación, Lovelace propuso una definición de "operación" que era más general y universal que la operación con números, tal y como la entienden las matemáticas tradicionales. Su ciencia de las operaciones incluía la manipulación abstracta de *cualquier* entidad, no solo números, sugiriendo así un significado más amplio también para la definición de automatización. Escribió:

> Quizás convenga explicar que, para nosotros, la palabra *operación* significa *cualquier proceso que altere la relación mutua entre dos o más cosas*, sea cual fuere el tipo de relación. Esta es la definición más general, e incluiría todos los objetos del universo. En matemáticas abstractas, por supuesto, las operaciones alteran esas relaciones particulares que están implicadas en las consideraciones de número y espacio, y los *resultados* de las operaciones son esos resultados peculiares que corresponden a la naturaleza de los objetos de la operación. Pero la ciencia de las operaciones, tal como se deriva de las matemáticas más especialmente, es una ciencia en sí misma, y tiene su propia verdad y valor abstractos.[87]

En otras palabras, Lovelace definió como "operación" el control de entidades materiales y simbólicas más allá del lenguaje de segundo orden de las matemáticas (como la idea, mencionada en el capítulo 1, de un pensamiento algorítmico más allá de los límites de la informática). De manera visionaria, Lovelace pareció sugerir que las matemáticas no son la teoría universal por excelencia sino un caso particular de la ciencia de las operaciones. Siguiendo esta idea, imaginó la capacidad de computadoras numéricas como *máquinas universales* para representar y manipular relaciones numéricas en las disciplinas más diversas y generar, entre otras cosas, artefactos musicales complejos:

> [La máquina analítica] podría influir sobre otras cosas además del número, si se encontraran objetos cuyas relaciones fundamentales mutuas pudieran expresarse mediante las de la ciencia abstracta de las operaciones, y que también fueran susceptibles de adaptaciones a la acción de la notación operativa y el mecanismo de la máquina [...]. Por ejemplo, suponiendo que las relaciones fundamentales entre sonidos graves y agudos en la ciencia de la armonía y de la composición musical fueran susceptibles de tales expresiones y adaptaciones, la máquina podría componer obras musicales elaboradas y científicas de cualquier grado de complejidad o extensión.[88]

Doron Swade, un historiador de la informática, hizo el siguiente retrato de Lovelace, quien, como pionera de la "computadora de uso general", estaba descubriendo la potencialidad de la manipulación simbólica más allá del campo de las matemáticas:

> Ada vio algo que Babbage, en cierto sentido, no pudo ver. En el mundo de Babbage, sus máquinas estaban atadas a los números [...] Lo que Lovelace vio [...] fue que el número podía representar entidades que no fueran

en la época de Lovelace el término "análisis" connotaba tanto la notación algebraica como el cálculo diferencial de Newton y Leibniz, en contraposición al plan de estudios establecido de la geometría.

[85] Lovelace, "Notes".

[86] Ibid., 22.

[87] Ibid., 22.

[88] Ibid., 23.

una cantidad. De modo que una vez que se disponía de una máquina para manipular números, si esos números representaban otras cosas, letras, notas musicales, entonces la máquina podía manipular símbolos de los que el número era una instancia, de acuerdo con ciertas reglas. Esta transición fundamental de una máquina calculadora a una máquina para manipular símbolos según reglas es la transición fundamental del cálculo a la computación, a la computación de uso general.[89]

Lovelace se dio cuenta de los horizontes especulativos que se abrirían para la máquina analítica, con sus ilimitadas capacidades de computación:

> La máquina analítica no está a la misma altura que las meras "máquinas de calcular". Tiene una posición propia; y todas las consideraciones que sugiere son muy interesantes por su naturaleza. Al permitir que el mecanismo combine símbolos generales en sucesiones de variedad y extensión ilimitadas, se establece un vínculo unificador entre las operaciones de la materia y los procesos mentales abstractos de la rama *más abstracta* de las matemáticas. Se desarrolla un nuevo lenguaje, amplio y poderoso, para el uso futuro del análisis, con el cual plasmar sus verdades de modo que puedan llegar a ser de aplicación práctica más rápida y precisa para los propósitos de la humanidad de lo que han hecho posible los medios disponibles hasta ahora. De este modo, no solo lo mental y lo material, sino lo teórico y lo práctico en el mundo matemático, entran en un contacto más íntimo y eficaz entre sí. No tenemos constancia de que hasta ahora se haya propuesto, o siquiera pensado, como una posibilidad práctica, algo que comparta la naturaleza de lo que tan acertadamente se denomina máquina analítica, como tampoco la idea de una máquina pensante o razonadora.[90]

Sin embargo, las "Notas" de Lovelace contienen la primera desestimación de la IA en un mundo que ya cultivaba la proyección antropomórfica de una máquina que podía "pensar" como un ser humano. En la famosa nota "G", escribió:

> La máquina analítica no tiene ninguna pretensión de *originar* nada. Puede hacer todo *lo que sepamos ordenarle* que haga. Puede *realizar* un análisis;

[89] Citado en John Fuegi y Jo Francis, "Lovelace and Babbage and the Creation of the 1843 'Notes'", *Annals of the History of Computing* 25, N° 4 (octubre-diciembre de 2003): 16-26.

[90] Charles Babbage, *Charles Babbage and His Calculating Engines*, New York: Dover Publications, 1961, 25.

> pero no tiene la capacidad de *anticipar* relaciones o verdades analíticas. Su cometido es ayudarnos a hacer *accesible* lo que ya conocemos. Se calcula que esto se llevará a cabo principalmente, por supuesto, a través de sus facultades ejecutivas; pero es probable que ejerza una influencia *indirecta* y recíproca sobre la propia ciencia de otra manera. Porque, al distribuir y combinar así las verdades y las fórmulas de análisis, para que se puedan adaptar más fácil y rápidamente a las combinaciones mecánicas de la máquina, las relaciones y la naturaleza de muchos temas de esa ciencia se ven necesariamente bajo una nueva luz y se investigan con mayor profundidad. Esa es una consecuencia decididamente indirecta, y un poco *especulativa*, de este invento. Sin embargo, es muy evidente que, en principios generales, al concebir una nueva forma de registrar y exponer las verdades matemáticas para su uso real, es probable que se induzcan opiniones que reaccionen de nuevo sobre la fase más teórica del tema. En todas las extensiones de las capacidades humanas, o adiciones al conocimiento humano, existen varias influencias *colaterales*, además del objeto principal y primario alcanzado.[91]

Que la máquina analítica pudiera realizar análisis significa que podía representar y plasmar la construcción analítica de un problema que lograba resolver un algebrista. Además, decir que la máquina analítica "no tiene la capacidad de anticipar relaciones o verdades analíticas", significa que no podía exceder o romper la cadena de razonamiento que estaba representando y plasmando materialmente; al igual que los algoritmos actuales para el análisis de datos que se han renombrado como "aprendizaje automático" e "inteligencia artificial" no pueden romper de forma creativa las reglas en las que se basan y, lo que es más importante, no pueden inventar sistemáticamente otras nuevas.

Babbage reconoció a regañadientes la contribución de Lovelace, pidiéndole que publicara sus notas sobre la máquina analítica de manera anónima. Por su resistencia contra el machismo de Babbage, Lovelace es, sin duda, una figura ejemplar de curiosidad técnica y emancipación en un mundo académico y científico dominado por hombres.[92] Sin embargo, su retrato hagiográfico también debe ponerse en contexto. Tanto la historia de Babbage como la de Lovelace pertenecen a la narrativa de la era industrial, en la cual las jerarquías sociales y las deudas intelectuales son mistificadas por un predecible culto a la personalidad, típico de la burguesía. Un ejemplo es una cita de Lovelace que se ha convertido en un eslogan de rutina para la élite informática: "Podemos

[91] Lovelace, "Notes", 44.

[92] Ver Jennifer Light, "When Computers Were Women", *Technology and Culture* 40, N° 3, 1999: 455-83.

decir con toda propiedad que la máquina analítica teje patrones algebraicos al igual que el telar Jacquard teje flores y hojas". Al romanticismo de esta cita, Schaffer contrapuso una aguda observación: "Lovelace nunca planteó el problema de la sustitución de la inteligencia de los tejedores por una serie de tarjetas programadas automáticamente ni el consiguiente sufrimiento de los desempleados cualificados de Londres".[93]

La marcha del intelecto material

Según la visión de Babbage, las máquinas calculadoras eran también herramientas para medir, imponer disciplina y vigilar el trabajo, es decir, para la "inteligencia" del trabajo, por lo menos en el sentido que la palabra aún tenía en esa época. Según Schaffer, de hecho, "en Gran Bretaña, a principios del siglo XIX, la palabra inteligencia representaba simultáneamente el creciente sistema de vigilancia social y la mecanización emergente de las filosofías naturales de la mente".[94] Mucho antes de las ambiciones tecnocráticas de la cibernética del siglo XX, Babbage había concebido una visión tecnocrática más amplia de la sociedad a través de sus máquinas de calcular. El hiperbólico divulgador Dionysius Lardner afirmaba que el nuevo sistema de notación mecánica de Babbage podía ser útil para describir y operar "una inmensa fábrica o cualquier gran institución pública en la cual se empleara a una gran cantidad de personas y se regularan sus tareas".[95]

En un estilo similar al de la propaganda industrialista, el libro de Babbage sobre maquinaria y manufacturas concluía con un capítulo sobre el extraordinario progreso del capitalismo británico bajo la bandera de la "Ciencia abstracta".[96] Allí, Babbage afirmaba específicamente que la acumulación de ciencia no sigue las leyes de la escasez de fuerzas físicas y producción material, sino que se amplifica virtuosamente a lo largo del tiempo:

> La ciencia y el conocimiento están sujetos, en cuanto a extensión e incremento, a leyes muy opuestas a las que regulan el mundo material. A diferencia

[93] Simon Schaffer, "Babbage's Dancer and the Impresarios of Mechanism", en *Cultural Babbage: Technology, Time and Invention*, ed. Francis Spufford y Jenny Uglow, London: Faber & Faber, 1996, 77.

[94] Schaffer, "Babbage's Intelligence", 204.

[95] Citado en Priestley, *A Science of Operations*, 30. Dionysius Lardner, "Babbage's Calculating Engine", *Edinburgh Review*, 59, 263-327 (1834). Republicado en Charles Babbage, *The Works of Charles Babbage*, vol. 2, London: William Pickering, 1989.

[96] Babbage, *On the Economy of Machinery*, 307.

> de la fuerzas de atracción molecular, que se interrumpen a ciertas distancias; o la de la gravedad, que disminuye rápidamente a medida que aumenta la distancia del punto de origen; cuanto más nos alejamos del origen de nuestro conocimiento, más grande se hace, y más poder confiere a quienes lo cultivan, para agregar nuevos campos a sus dominios.[97]

Al comentar sobre la ideología de Babbage y su sorprendente parecido con las proclamas del siglo XX sobre la sociedad del conocimiento, Norton Wise escribe:

> La metáfora de la máquina se extiende ahora desde el literal motor a vapor que pone en movimiento la maquinaria, al capital como motor del trabajo, a la economía de las máquinas como motor social, al conocimiento científico como motor de la acción práctica. Inevitablemente, el conocimiento científico representaba un capital en la economía del conocimiento, un reservorio de fuerza motriz que continuó acumulándose a interés compuesto.[98]

Estos puntos de vista optimistas sobre el desarrollo del conocimiento no eran infrecuentes en esa época: como se muestra en el capítulo siguiente, algunos socialistas ricardianos, como William Thompson y Thomas Hodgskin, proponían teorías utópicas similares sobre la acumulación de trabajo del conocimiento desde la perspectiva del movimiento obrero. Según Babbage, la razón del "campo del conocimiento humano que aumenta continuamente" es exponencial y nos preguntamos (como lo hicieron los socialistas ricardianos y Marx) cuál sería el efecto de esa sobreproducción de conocimiento y ciencia sobre la economía y la acumulación de capital. Es en este punto culminante de acumulación de conocimiento y ciencia que Babbage anunció de manera profética el surgimiento hegemónico de una nueva ciencia, la ciencia del *cálculo*.

> Debemos recordar que otra ciencia más elevada, aún más ilimitada, también avanza a pasos agigantados, y habiendo comprendido las masas más poderosas del universo, y reducido sus vagabundeos a leyes, nos ha dado en su propio lenguaje condensado, expresiones que son historia para el pasado y profecía para el futuro. Es la misma ciencia que ahora prepara los grilletes para los átomos más diminutos creados por la naturaleza: ya casi ha encadenado el fluido etéreo y unido en un sistema armonioso todos los

[97] Ibid., 315.

[98] Wise y Smith, "Work and Waste", 414. Ver también Charles Babbage, "Preface", en *Memoirs of the Analytical Society*, de Charles Babbage y John Herschel, Cambridge: Cambridge University Press, 1813, xxi.

> intrincados y espléndidos fenómenos de la luz. Es la ciencia del *cálculo*, que se va volviendo cada vez más necesaria en cada paso del progreso y, en última instancia, debe regir todas las aplicaciones de la ciencia a las artes de la vida.[99]

Aquí, la ideología se impone sobre los logros científicos de Babbage. Mientras que en uno de los primeros capítulos de su libro, Babbage fundamentaba la ciencia del cálculo en los principios del análisis del trabajo, finalmente la presentó como la materialización de la ciencia de lo abstracto.

De manera similar al discurso contemporáneo de la IA, Babbage captó la inteligencia colectiva de la división del trabajo y la instrumentó para construir una visión tecnocrática de la sociedad.[100] La retórica de Babbage nunca reconoció de manera explícita la Cuestión de la Maquinaria, el debate público sobre los trabajadores que estaban siendo reemplazados por máquinas. En cambio, para él, el conocimiento de la energía del vapor y la nueva ciencia del cálculo automatizado debían servir únicamente como multiplicadores de la productividad.[101] Según el historiador William Ashworth: "El trabajo de Babbage en su máquina calculadora fue la marcha del intelecto material al ritmo de la fábrica".[102]

[99] Babbage, *On the Economy of Machinery*, 316.

[100] Sobre el plan político de Babbage, Wise comentó: "Babbage hizo que el conocimiento, o el trabajo mental, fueran la fuente de transformación de la economía, y [...] trató de someter sus operaciones de transformación a las leyes mecánicas, como lo hizo con la máquina analítica". Wise y Smith, "Work and Waste", 416.

[101] Las últimas reflexiones de Babbage no giran en torno al agotamiento de los "recursos humanos" sino de los naturales, repitiendo un argumento que se convertiría en uno de los *leitmotiv* en el siglo siguiente: "Esta fuente de energía no es ilimitada, y las minas de carbón del mundo pueden llegar a agotarse". Ya en su época Babbage recomendaba la conversión a energía geotérmica, y llegó a considerar los géiseres de Islandia como una alternativa al carbón.

[102] William J. Ashworth, "Memory, Efficiency, and Symbolic Analysis: Charles Babbage, John Herschel, and the Industrial Mind", *Isis* 87, N° 4, 1996: 648.

3. LA CUESTIÓN DE LA MAQUINARIA

Pregunta: ¿Cuál es el efecto de la maquinaria?
Respuesta: Realizar el trabajo que de otro modo debe hacerse a mano, y hacerlo de la manera más perfecta y rápida.
Pregunta: ¿A quién debería pertenecer la maquinaria?
Respuesta: A los hombres que realizaban el trabajo que hace, a los trabajadores [...]
Pregunta: ¿Quiénes son los inventores de la maquinaria?
Respuesta: De manera casi universal, los trabajadores.
Pregunta: Pero ¿por qué los trabajadores no usan la maquinaria para ellos mismos?
¡No hay respuesta!

The Pioneer, 1833[1]

La historia de la clase trabajadora inglesa comienza en la segunda mitad del siglo XVIII, con la invención del motor a vapor y de las máquinas de hilar y tejer algodón. Se sabe que esos incentivos impulsaron la génesis de la revolución industrial.

Friedrich Engels, *La situación de la clase obrera en Ingraterra*[2]

La ciencia que obliga a los miembros inanimados de la maquinaria, por su construcción, a actuar intencionadamente, como un autómata, no existe en la conciencia del trabajador, sino que actúa sobre él a través de la máquina como una fuerza extraña, como el poder de la propia máquina.

Karl Marx, *Grundrisse*

[1] *The Pioneer* 1, N° 4 (28 de septiembre de 1833).

[2] Friedrich Engels, *Die Lage der arbeitenden Klasse in England*, Leipzig: Wigand, 1845.

Cómo cuestionar la tecnología

Comúnmente, se cree que la Revolución Industrial conquistó la sociedad inglesa y transformó una economía de ciclos agrícolas regulares en otra de crecimiento violento e inestable. Durante mucho tiempo, en todo el espectro político, se aceptó que el capitalismo empezó como *capitalismo de las máquinas* y que incluso la creación y el destino de la clase trabajadora estuvieron atados a una máquina industrial.[3] El propio Friedrich Engels declaró este lugar común en la primera frase de *La situación de la clase obrera en Inglaterra* (1845, citada como epígrafe de este capítulo). Sin embargo, su colaboración con Karl Marx cuestionaría de manera radical esta visión aparentemente tecnodeterminista, convirtiéndola en una que reconocía a los trabajadores y la división del trabajo, y no a la tecnología, como los principales motores del desarrollo capitalista.[4]

Durante la era industrial, las máquinas llegaron a suplantar a los trabajadores, dividiéndolos entre cualificados y no cualificados, además de separar el trabajo mental del manual e imponer nuevas jerarquías. Sin embargo, los trabajadores se resistieron a esa división. Se rebelaron contra las máquinas y se enfrentaron a su "fuerza extraña", debatieron el papel de las máquinas, irrumpieron en fábricas para destruirlas y exigieron, finalmente, educación pública sobre ellas. El resultado de esa protesta fue la "Cuestión de la Maquinaria", muchas veces olvidada, el debate público que se suscitó en la sociedad inglesa de esa época sobre el reemplazo masivo de trabajadores por nuevas tecnologías.

Como preludio necesario al estudio de la IA contemporánea, este capítulo pretende iluminar no solo los conflictos sociales que subyacen a la Cuestión de la Maquinaria, sino también el amplio campo de la producción de conocimiento en torno a las máquinas industriales y el trabajo mecánico. Ya durante la era industrial, las máquinas presentaban un problema de *inteligencia de las máquinas*, también entendido como falta de conocimiento colectivo sobre ellas. Además de sus bien celebradas proezas físicas, energéticas y termodinámicas (documentadas por Anson Rabinbach en su libro *The Human Motor* [El motor humano]),[5] el trabajo industrial también entrañaba conocimientos sobre las máquinas, conocimientos encarnados por las máquinas y conocimientos producidos y proyectados de manera diferente por las máquinas. Esa dimensión epistemológica de la era industrial, diferente de la energética pero relacionada con ella, ha sido menos investigada y siempre parece ocupar un lugar secundario en la amplia literatura de la economía política (incluido el marxismo). Desde ese punto de vista —es decir, desde la perspectiva de la producción de conocimiento, de la indagación de las formas de conocimiento de la era industrial—, este capítulo espera arrojar una luz diferente y presentar sus respetos a un siglo de trabajo arduo.

En su influyente libro *The Machinery Question and the Making of Political Economy* [La Cuestión de la Maquinaria y la construcción de la economía política], la historiadora Maxine Berg argumenta que en los tiempos de la era industrial,

> la maquinaria se convirtió en la base más inmediata de la relación entre el capitalista y el trabajador. Era la máquina la que definía la organización del trabajo y la que mantenía el equilibrio de poder en la determinación de la distribución de los beneficios del trabajo.[6]

Esa es una descripción atroz del campo de fuerzas, más precisamente del campo de batalla político, en el que los actores sociales y económicos debían enfrentarse. Más que una campaña de los industriales, hay que señalar inmediatamente que la Cuestión de la Maquinaria fue ante todo una reacción de la clase obrera y una expresión de sus demandas por el control y la propiedad del progreso tecnológico. Berg escribe:

> Los trabajadores criticaban la introducción rápida y no planificada de nuevas técnicas en situaciones donde el resultado inmediato sería el desempleo tecnológico. Pero también fueron más allá de eso y desafiaron los usos y las relaciones de propiedad de la tecnología. Exigieron una distribución equitativa de las ganancias generadas por el progreso técnico. En lugar de aumentar los beneficios de unos pocos, la máquina, argumentaban, podría aligerar el trabajo y aumentar el ocio de muchos. También exigieron un

[3] En la actualidad, se ve la era industrial en un contexto más amplio y en una escala temporal. Para aclarar la deuda del capitalismo industrial británico para con sus colonias y los límites del propio marxismo con respecto a ese tema, ver Cedric Robinson, *Black Marxism: The Making of the Black Radical Tradition*, Chapel Hill: University of North Carolina Press, 1983.

[4] La lectura de Engels difiere de la de Marx en *El capital*, donde la división del trabajo y las relaciones sociales de producción se describen como el principal motor del desarrollo tecnológico. Engels y Marx se conocieron en 1844.

[5] Ver Anson Rabinbach, *The Human Motor: Energy, Fatigue, and the Origins of Modernity*, Berkeley: University of California Press, 1992.

[6] Maxine Berg, *The Machinery Question and the Making of Political Economy*, Cambridge: Cambridge University Press, 1980, 101.

mayor control sobre la dirección del cambio tecnológico [...]. El progreso tecnológico también debería orientarse a cambiar el papel de la mujer en la sociedad, eliminando el pesado trabajo manual y las tareas domésticas que impedían a muchas mujeres reivindicar una posición de igualdad con los hombres.[7]

La Cuestión de la Maquinaria fue abordada canónicamente por David Ricardo en el capítulo "Sobre la maquinaria", que fue añadido a la edición de 1821 de su libro *Principles of Political Economy* [Principios de economía política]. La tesis de Ricardo era la siguiente: si bien era cierto que la nueva maquinaria abarataría los precios de las mercancías, la clase obrera no se beneficiaría de eso, ya que los salarios se verían reducidos por la competencia entre trabajadores provocada por el desempleo tecnológico. Berg añade que:

> La cuestión [de la maquinaria] era central para las relaciones cotidianas entre el dueño y el trabajador, pero también poseía un gran interés teórico e ideológico. La propia tecnología, base de la economía y la sociedad, era una plataforma de desafío y lucha. Se debatía largo y tendido sobre la máquina en todos los sectores de la sociedad. Encendía tanto al clérigo de pueblo como al intelectual cosmopolita; preocupaba tanto al político como al trabajador y al empleador; tanto al reformador social como al científico y al inventor. Esos grupos debatían sobre los costos y los beneficios de la nueva tecnología. Aplaudían la liberación que suponía respecto de los límites al crecimiento, pero discrepaban sobre el impacto que tendría en los salarios, el empleo y la cualificación. Especulaban y después recibían con satisfacción o temor los cambios que la máquina introduciría en las relaciones sociales. Incluso se llegó a cuestionar los orígenes y la propiedad de la maquinaria. Había entusiasmo y miedo ante esta fuerza desconocida que avanzaba de manera implacable, sacudiendo a su paso a la vieja sociedad.[8]

Por lo tanto, la Cuestión de la Maquinaria fue un fenómeno complejo: una problemática de la cultura popular, la propaganda política, la controversia científica y el control social a través de la educación. La máquina se convirtió en el foco de una lucha intelectual y ocupación política para los pensadores radicales, los industriales utópicos y los militantes socialistas (y a veces, los

[7] Ibid., 17.
[8] Ibid., 2, 9-10.

conservadores).[9] La lucha ideológica en torno a la maquinaria incluía literatura popular y panfletos, poemas y sátiras, y también la celebración por parte de los industriales de un culto a la máquina con autómatas danzantes, "turcos mecánicos" y máquinas industriales expuestas en plazas públicas como atracciones turísticas. Se sabe que Charles Babbage exhibía en su salón un autómata feminizado, una bailarina, "en la habitación contigua a la parte incompleta de la primera máquina diferencial".[10] Como subrayó Berg, el surgimiento de la economía política como una nueva disciplina fue parte de la lucha intelectual para controlar la Cuestión de la Maquinaria.[11]

La respuesta al uso de máquinas y el subsiguiente desempleo tecnológico de los trabajadores también fue la demanda, tanto por parte de los obreros como de los industriales, de mayor conocimiento sobre las máquinas, más educación y mejor capacitación, que adoptó la forma del movimiento del Instituto de Mecánica, entre otras iniciativas. En 1823 se fundó el Instituto de Mecánica de Londres, más tarde conocido como Universidad de Birkbeck, que aún lleva el lema en latín *In nocte consilium* ("La noche trae consejo"), ya que los estudiantes estaban acostumbrados (o, para ser más exactos, se veían obligados) a asistir a cursos vespertinos y nocturnos después de la jornada laboral diaria. En 1826, Henry Brougham, futuro Lord Canciller, fundó la Sociedad para la Difusión de Conocimiento Útil, para ayudar a quienes no tenían acceso a la escolarización, el mismo año en que se fundó la Universidad de Londres (más tarde, University College de Londres). El owenista Hawkes Smith llegó a acuñar metáforas mecánicas para la educación: "Hay una maquinaria *intelectual*, una *energía mental* en marcha, y su acción sigue aumentando, y hace que la educación sea proporcionalmente tan barata y tan asequible para el hombre de pocos recursos como la ropa y los enseres domésticos".[12] En efecto, se ha olvidado cómo buena parte del panorama académico británico hunde sus raíces en la aceleración epistemológica de la Revolución Industrial.[13]

[9] Ibid., 168. Este debate no siempre tomó direcciones progresistas. Por ejemplo, Thomas Carlyle era un pensador racista, que a menudo empleaba imágenes vitalistas y góticas contra la maquinaria industrial para atraer a los trabajadores a su causa. Ver Thomas Carlyle, "Chartism", en *The Works of Thomas Carlyle*, ed. Henry Duff Traill, vol. 29, *Critical and Miscellaneous Essays* IV, Cambridge: Cambridge University Press, 2010, 118-204.

[10] Simon Schaffer, "Babbage's Dancer and the Impresarios of Mechanism", en *Cultural Babbage: Technology, Time and Invention*, ed. Francis Spufford and Jenny Uglow, London: Faber & Faber, 1996, 53-80.

[11] Berg, *The Machinery Question*, 17.

[12] Hawkes Smith, "On the Tendency and Prospects of Mechanics' Institutions", *The Analyst*, 1835.

[13] Sobre una descripción de los movimientos del Instituto de Mecánica como forma de control social y campo de batalla ideológico, ver Steven Shapin y Barry Barnes, "Science, Nature and Control: Interpreting Mechanics' Institutes", *Social Studies of Science* 7, N° 1, 1977: 31-74.

¿Qué *formas de conocimiento* se debatieron bajo los auspicios de la Cuestión de la Maquinaria? El conocimiento entendido como habilidad e invención mecánica, ciencia aplicada más que abstracta, era la misión de obreros, ingenieros, educadores e industriales. Los Institutos de Mecánica fueron la encarnación de esa tendencia, que buscaba, según las palabras de Berg, la "combinación óptima de ciencia y cualificación [...] una forma superior de trabajo cualificado, liberado de la degradación de la división del trabajo e imbuido de instintos creativos e innovadores".[14] Todo el mundo sostenía que el crecimiento económico estaba ligado a la invención de nuevas máquinas y consideraba el *intelecto como la máquina dentro de la máquina*; sin embargo, el papel del intelecto en ese proceso no estaba entonces del todo claro (y tampoco lo está en la actualidad).

En este debate, Marx fue probablemente una de las voces más originales y agudas. Llegó a cuestionar el determinismo tecnológico según el cual la máquina sería el motor principal del capitalismo industrial. Invirtiendo la percepción común sobre la relación entre tecnología y economía, argumentó que el desarrollo tecnológico (los *medios de producción*) es provocado por la división del trabajo (las *relaciones de producción*) y no al revés.[15] Según Marx, la acumulación capitalista se ve impulsada por la explotación de la plusvalía, por una división del trabajo cada vez mayor, y no por la aceleración tecnológica. Según su mirada, era la inteligencia emergente de la división del trabajo, la cognición espontánea y distribuida de dueños y trabajadores, lo que inventaba máquinas, no la ciencia *per se*. La ciencia entraba en juego después, para mejorar las máquinas que emergían de la configuración social. Para Marx, para ser precisos, la *fuerza extraña* real que mueve al capitalismo no es la maquinaria sino el trabajo vivo.

Estos esbozos de la Cuestión de la Maquinaria tienen como objeto revelar todo el espectro de fuerzas sociales que se esconden detrás del universo intelectual de la era industrial, en lugar de aceptar el determinismo tecnológico como su teoría principal. Efectivamente, durante esa era se produjo una compleja dialéctica entre las formas sociales, técnicas, científicas y culturales, que no puede reducirse a ninguna de ellas. Las listas ampliadas de *modelos de conocimiento* y las modalidades de *producción de conocimiento* que atravesaron la era industrial por lo menos deberían incluir: el tipo de conocimiento que está representado por el acto de la *invención* de una máquina; la *división del trabajo* que inspira su *diseño*; el *conocimiento técnico* de la ingeniería y el *lenguaje simbólico* necesario para describir el mecanismo; las *ciencias duras*, como la mecánica y la termodinámica; las *disciplinas no técnicas*, como la economía política; la *metrología* del trabajo manual y mental y los instrumentos para medirlos; el *conocimiento colectivo* encarnado tanto en la maquinaria como en las relaciones sociales (llamado "intelecto general"); los *movimientos educativos*, como los Institutos de Mecánica; las *campañas políticas* como la Marcha del Intelecto, y finalmente, la *mitología popular* en torno a los autómatas como el Turco mecánico. La Cuestión de la Maquinaria contenía todas esas formas controvertidas de conocimiento. No se trataba de una historia totalmente pública —de movimientos y efectos visibles—, sino más bien de una historia anónima: de invisibilización (sobre todo del trabajo femenino) y de amnesia política en torno a los primeros conceptos de economía política, como el trabajo mental.

[14] Berg, *The Machinery Question*, 149.
[15] Ibid., 158.

Para contrarrestar el hechizo de la invisibilización de la fuerza de trabajo, en especial para comprender mejor la demonización del trabajo mental en el siglo siguiente y la razón por la cual el trabajo mental desapareció de los debates sobre tecnología, este capítulo amplía, desde ángulos opuestos, la reflexión del capítulo anterior sobre la teoría laboral de la máquina planteada por Babbage. Por un lado, explica la influencia del conocimiento en la definición de trabajo, proporcionando el marco para una *teoría del trabajo basada en el conocimiento* (apreciada del mismo modo por los socialistas ricardianos del siglo XIX y por los economistas del conocimiento del siglo XX). Por otro lado, describe la influencia clave de las nuevas máquinas e instrumentos en el desarrollo de nuevo conocimiento, ampliando una *teoría maquínica de la ciencia* que es clave para la epistemología materialista de este libro.

La teoría del trabajo basada en el conocimiento

El estudio de la relación entre conocimiento y trabajo se vio complicado por la hegemonía que ha mantenido la ciencia, en la era moderna, a la hora de definir e imponer jerarquías sociales. El imperialismo epistemológico de las instituciones científicas ha opacado el papel que el trabajo, la artesanía, los experimentos y las formas espontáneas de conocimiento han desempeñado en el cambio tecnológico: en gran medida, todavía se cree que solo la aplicación de la ciencia a la industria puede inventar nuevas tecnologías e impulsar el crecimiento económico, cuando en realidad rara vez sucede eso. De hecho, ya a principios del siglo XIX la economía política reconocía el papel productivo del trabajo mental y el componente de conocimiento de cualquier forma de trabajo manual en la invención tecnológica. Algunos socialistas ricardianos como William Thompson y Thomas Hodgskin, por ejemplo, proporcionaron un análisis del trabajo mental que es muy anterior a los teóricos de la sociedad del

conocimiento del siglo xx. En este libro, su posición queda ejemplificada como una teoría del trabajo basada en el conocimiento, según la cual el componente principal del trabajo no es muscular, físico y energético, sino fundamentalmente psicológico, intelectual e informativo.

William Thompson fue "un terrateniente irlandés que abrazó las ideas del owenismo y criticó la economía política desde una postura socialista utópica, pero basándose en las doctrinas de Ricardo".[16] En 1824, Thompson publicó un libro ya olvidado que llevaba el título optimista de *An Inquiry into the Principles of the Distribution of Wealth Most Conducive to Human Happiness Applied to the Newly Proposed System of Voluntary Equality of Wealth* [Una investigación sobre los principios de la distribución de la riqueza más conducentes a la felicidad humana, aplicada al nuevo sistema propuesto de igualdad voluntaria de la riqueza]. En ese texto, Thompson proporcionó una de las definiciones sistemáticas del trabajo del conocimiento de la era moderna:

> Al hablar de trabajo, siempre hemos incluido en ese término la cantidad de conocimiento necesario para su dirección. Sin ese conocimiento, no sería más que fuerza bruta dirigida sin ningún propósito útil. En cualquier proporción en que el trabajador productivo, o quien dirija su trabajo, posea ese conocimiento, ya sea en su totalidad o en parte, es necesario que alguna persona lo posea para que el trabajo sea productivo.[17]

De manera premonitoria, Thompson argumentó que la economía del conocimiento sigue reglas de difusión diferentes de las de la economía de la escasez de bienes materiales y que, en cambio, se rige por la expansión continua y la multiplicación libre:

> La riqueza, el producto del trabajo, está necesariamente limitada en cuanto a su oferta [...]. No sucede lo mismo con el placer derivado de la adquisición, la posesión y la difusión del conocimiento. La oferta de conocimiento es ilimitada [...]. Cuanto más se difunde, más se multiplica.

Sin embargo, Thompson percibió la ambivalencia del conocimiento instrumental, en una especie de "dialéctica de la ilustración" *ante litteram*. En una polémica típica del owenismo, Thompson describió que la maquinaria humillaba las

[16] Una nota al pie de los *Grundrisse* de Marx presenta a Thompson de ese modo. Marx, Grundrisse, 537.

[17] William Thompson, *An Inquiry into the Principles of the Distribution of Wealth Most Conducive to Humane Happiness Applied to the Newly Proposed System of Voluntary Equality of Wealth*, London: Longman, Hurst, Rees, Orme, Brown y Green; Wheatley y Adlard, 1824, 272.

"capacidades intelectuales generales" de los trabajadores que, de esta manera, quedaban reducidos a la condición de "autómatas entrenados". La fábrica era un aparato para mantener a los trabajadores "en la ignorancia de los resortes secretos que regulaban la máquina y para reprimir las capacidades generales de sus mentes", de modo que "los frutos de su propio trabajo les eran arrebatados por medio de un centenar de artilugios".[18] La cita del texto de Thompson que Marx reproduce en *El capital* es una síntesis perfecta de esa idea:

> El hombre con conocimientos y el trabajador productivo terminan separándose mucho el uno del otro, y el conocimiento, en lugar de seguir siendo el siervo del trabajo en manos del trabajador para aumentar sus capacidades productivas [...] se ha alineado casi en todas partes en contra del trabajo. "El conocimiento" se convierte en "un instrumento, susceptible de desprenderse del trabajo y de oponerse a él".[19]

El texto de Thompson no solo fue el primer reporte moderno sobre el trabajo del conocimiento y del componente cognitivo de todo trabajo, sino también el que reconoció la alienación del conocimiento respecto de los trabajadores y su transformación en un poder represivo y hostil a los propios trabajadores.

También Thomas Hodgskin, un socialista ricardiano de tendencia libertaria, que creía en el progreso del conocimiento colectivo y en la autonomía de la sociedad frente al capital y a la intervención del Estado, defendía posturas similares. Hodgskin fue uno de los fundadores del Instituto de Mecánica de Londres, donde en 1826 dio una conferencia titulada "On the Influence of Knowledge" [Sobre la influencia del conocimiento], posteriormente publicada como parte de su libro *Popular Political Economy* [Economía política popular] (1827). Algunos socialistas como Thompson y Hodgskin argumentaban que el conocimiento es clave para la prosperidad económica. Hodgskin se quejaba de que Adam Smith, el padre de la economía política, no le daba un tratamiento adecuado al tema y comentó:

> Por lo tanto, esos libros llamados Elementos, Principios o Sistemas de Economía Política, que no abrazan ni desarrollan en profundidad [...] toda la influencia del conocimiento en la capacidad productiva y no explican las leyes naturales que regulan el progreso de la sociedad en cuanto al

[18] Thompson, *Principles of the Distribution of Wealth*, 272-275, 290, 292.

[19] Karl Marx, *Capital: A Critique of Political Economy*, trad. Ben Fowkes, vol. 1, London; New York: Penguin Books; New Left Review, 1976, 482-483; Thompson, *Principles of the Distribution of Wealth*, 274.

conocimiento, como tratados de Economía Política, están y deben estar incompletos.[20]

En un claro argumento antimalthusiano, Hodgskin ancló el crecimiento virtuoso del conocimiento a las necesidades de una población creciente, recuperando así también el territorio de la producción de conocimiento que era monopolio de las academias estatales y las instituciones científicas. Declaró de manera positiva: "La necesidad es la madre de la invención; y la existencia continua de la necesidad solo puede explicarse por el aumento continuo de la población".[21] Según Hodgskin, es el aumento de población lo que exige una mejor cualificación para producir y distribuir la riqueza, generando así conocimiento avanzado: "A medida que el mundo envejece y que el hombre crece y se multiplica, aparece una tendencia constante, natural y necesaria a aumentar sus conocimientos y, en consecuencia, su poder productivo". Al igual que Thompson, Hodgskin sostenía que las reglas de la economía del conocimiento no son las del capitalismo: "Las leyes que rigen la acumulación y el empleo de capital son muy diferentes de las leyes que regulan el progreso del conocimiento y no tienen vinculación con ellas". Según la visión de Hodgskin sobre la sociedad, no debería haber jerarquías intelectuales, ni divisiones entre cabeza y mano, ni promoción de una aristocracia del trabajo, porque "tanto el trabajo mental como el corporal son practicados por casi todos los individuos".[22]

La demonización del trabajo mental

Como señaló Berg, para los participantes en la Cuestión de la Maquinaria y los del movimiento del Instituto de Mecánica, la celebración aparentemente benévola de la artesanía fue decisiva para dividir a la clase obrera e incitar a una "aristocracia del trabajo" fabricada para imitar las costumbres burguesas:

> La retórica sobre el vínculo entre el progreso tecnológico y la mejora económica en el movimiento del Instituto de Mecánica [...] quiso contribuir a la formalización de jerarquías en el movimiento obrero. Había que separar al artesano cualificado del trabajador común no cualificado, y a ambos

[20] Thomas Hodgskin, *Popular Political Economy: Four Lectures Delivered at the London Mechanics Institution*, London: Tait, 1827, 97.

[21] Ibid., 86. Ver el relato elitista del conocimiento realizado por Malthus en "Ensayo sobre el principio de la población" [An Essay on the Principle of Population], 1798.

[22] Ibid., 95, 78, 47.

> de la clase media. Este diseño para crear una "aristocracia del trabajo" fue complementado por algunos esfuerzos por contribuir a la disciplina de la fuerza laboral.[23]

Promoviendo la figura del artesano ingenioso entre otras personalidades talentosas (como científicos y filósofos), la clase industrial pretendía dividir al proletariado según una jerarquía de trabajadores no cualificados y cualificados, e imponer un disciplinamiento gradual del trabajo. Por el otro lado, el movimiento obrero luchó para mantener un frente unido en el cual tanto los trabajadores no cualificados como los artesanos cualificados pudieran percibir que tanto los unos como los otros estaban del mismo lado de la confrontación política. Pero para mantener esa posición, por razones fácticas, tenía que ocultar y absorber la diferencia del *trabajo mental* dentro del manual, y del trabajo individual dentro del colectivo. Por lo tanto, en términos de estrategia política, para unificar un frente dividido, era necesario declarar que todo trabajo era manual (sin implicar que todo trabajo también es mental). Todo conocimiento colectivo, incluidos la cualificación, los conocimientos técnicos e incluso la ciencia, debían convertirse así en una expresión del *trabajo en común*.

En definitiva, esta reacción contra las jerarquías sociales del conocimiento en el movimiento obrero condujo al rechazo del estatus del trabajo mental entre sus filas y, de ese modo, a la adopción inconsciente de una segmentación social burguesa. Como tal, el trabajo mental fue excluido de la Cuestión de la Maquinaria para mantener la unidad política de los trabajadores. Desde entonces, la focalización en el trabajo manual ha impuesto una interpretación del trabajo como rendimiento energético exclusivamente (como ha señalado Rabinbach, incluso el *Arbeitskraft* [fuerza de trabajo] de Marx era originariamente un concepto de la termodinámica).[24] Tanto la discriminación entre trabajo mental y manual realizada por la clase media como la neutralización del trabajo mental dentro del trabajo manual por parte de la clase obrera fueron dictadas por razones de táctica política dentro del campo de las fuerzas sociales de la era industrial. Lo notable es que la amnesia del siglo xx en torno a la teoría decimonónica del trabajo mental encuentra su explicación en la fuerza del movimiento obrero en su enfrentamiento con la clase capitalista.

Marx desempeñó un papel específico en la organización de la amnesia política con respecto al trabajo mental (ver capítulo 4). A pesar de estar familiarizado con Thompson y Hodgskin, a quienes citó en *El capital*, Marx quitó

[23] Berg, *The Machinery Question*, 179.

[24] Ver Rabinbach, *The Human Motor*.

todas las referencias al trabajo mental, el trabajo del conocimiento y el "intelecto general" para reemplazarlas por la capacidad inventiva de la división del trabajo y la nueva figura del trabajador colectivo, o *Gesamtarbeiter*. Siguiendo a Babbage, Marx adoptó la idea de que la división ampliada del trabajo, y no la ciencia, era la inventora de la máquina. De esa manera, Marx invirtió la *teoría del trabajo basada en el conocimiento* en una *teoría laboral del conocimiento* más materialista, en la cual las formas de trabajo espontáneas, inconscientes, tácitas y colectivas también acaban siendo reconocidas como productoras de conocimiento. No obstante, la maquinaria industrial terminó polarizando la distancia entre los trabajadores cualificados y no cualificados. Como resumió Marx: "Con la introducción de la maquinaria, creció la división del trabajo en la sociedad, se simplificó la tarea del trabajador dentro de la fábrica, se concentró el capital, desarticuló aún más al ser humano".[25] Sobre esa base, Berg llega a la conclusión de que "la maquinaria no desplazó al trabajo. En cambio, diferenció ese trabajo desarticulando al antiguo oficio".[26]

La distinción entre cabeza y mano, entre trabajo mental y manual, no solo es típica de las sociedades industriales modernas; ha formado parte de la cultura occidental por lo menos desde la oposición aristotélica entre *episteme* ("conocimiento") y *téchne* ("arte" u "oficio") en la antigua Grecia, que posteriormente se volvió funcional para definir las jerarquías sociales en todo Occidente. De hecho, algunos historiadores de las matemáticas, como Peter Damerow, sitúan la separación social del trabajo mental y el manual en los albores de las civilizaciones, debido a la necesidad de contar poblaciones, planificar la agricultura y administrar los recursos. El control de los símbolos abstractos más tarde se convertiría en el domino de las letras y el espíritu y en una duradera segmentación clasista de la sociedad, como recogen los historiadores de la ciencia Lissa Roberts y Simon Schaffer:

> Aquellos que se consideran a sí mismos trabajadores mentales, como los filósofos, los científicos, los legisladores y los burócratas, tanto entonces como ahora, reclamaban y construían el dominio de su "comprensión" sobre los trabajadores manuales y sus oficios. Se apoyaban en el refuerzo mutuo de la retórica coercitiva y los hechos brutales. La dócil aceptación de sus categorías nos dejó un mapa histórico configurado por pares opuestos y ordenados de manera jerárquica: erudito/artesano, ciencia/tecnología, puro/aplicado y teoría/práctica.[27]

[25] Karl Marx, *The Poverty of Philosophy. Answer to the "Philosophy of Poverty" by M. Proudhon*, Moscow: Progress Publishers, 1955.

[26] Berg, *The Machinery Question*, 34.

Por lo tanto, es posible argumentar que la primera *división del trabajo* en el sentido moderno es la separación entre cabeza y mano, que surgió poco a poco en los talleres del Renacimiento para quedar totalmente cercenada en las fábricas industriales en forma de la división del trabajo mental y manual. Por ejemplo, Edgar Zilsel, un historiador de la ciencia, documentó cómo incluso los "héroes" de la llamada Revolución científica, como Galileo Galilei, aprendieron más en talleres clandestinos, bibliotecas ocultas y aulas nómadas que en las universidades.[28] Roberts y Schaffer, por su parte, propusieron la imagen elegante de la "mano consciente" como una manera de reconocer y recomponer el ingenio del trabajo manual, los experimentos mecánicos y los talleres científicos a lo largo de la modernidad, sin romantizar la artesanía como hace tan a menudo el discurso conservador.[29] En vez de cultivar de una manera reaccionaria el "heroísmo" provinciano de los artesanos, la imagen de la "mano consciente" hace hincapié en la dimensión social de la vida experimental y sus inventos.

La modernidad industrial se ha fundado sobre la captura de este conocimiento colectivo por parte de aparatos estatales y económicos, instituciones del conocimiento y tecnologías del conocimiento, que finalmente convirtieron el trabajo mental en un *Geist*, para utilizar el ambivalente término alemán, un fantasma, más que un espíritu intelectual, que la teoría política aún lucha por comprender. Arrancado a la fuerza de los trabajadores y de la cooperación social, el trabajo mental adoptó la naturaleza de un demonio semivisible: una cuestión política a exorcizar, por razones opuestas, tanto por el movimiento obrero como por los intereses empresariales.[30]

[27] Lissa Roberts, Simon Schaffer y Peter Dear (eds.), *The Mindful Hand: Inquiry and Invention from the Late Renaissance to Early Industrialisation*, History of Science and Scholarship in the Netherlands, vol. 9, Amsterdam: Koninkliijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen, 2007, xiii.

[28] Edgar Zilsel, *The Social Origins of Modern Science*, History of Philosophy of Science, Dordrecht: Springer, 2002, 5.

[29] Sobre una interpretación progresista de la artesanía, ver Richard Sennet, The Craftsman, New Haven, CT: Yale University Press, 2008. Sobre una interpretación conservadora de la artesanía, ver Peter Sloterdijk, *You Must Change Your Life*, London: John Wiley & Sons, 2014, 292: "Quien no se interese en los artesanos, no debería hablar sobre los héroes".

[30] Roberts y Schaffer abordan esa ambivalencia en la idea de la moderna "negación del ingenio".

La teoría maquínica de la ciencia

Los fabricantes de herramientas y los operadores de máquinas sabían que estaban contribuyendo a la invención de nuevas tecnologías. Pero pocas veces se daban cuenta de que también estaban contribuyendo a nuevos descubrimientos científicos. Nuevas máquinas impulsan ideas científicas y cambios de paradigma con más frecuencia que la ciencia inventa nuevas tecnologías desde arriba. Como en un ejemplo mencionado anteriormente, fue el motor a vapor el que dio origen a la termodinámica, y no al revés. La ciencia del calor y la transformación de energía se desarrolló para mejorar el motor a vapor: fue una proyección de las ambiciones lucrativas del movimiento autónomo, no solo producto de la curiosidad por el universo. En el estudio de las formas de conocimiento que experimentan mecanización, es importante destacar también el conocimiento del mundo expresado nuevamente por las máquinas. La idea de que las herramientas, los instrumentos y las máquinas proyectan y constituyen la ontología de las teorías científicas sobre el mundo puede definirse como una *teoría maquínica de la ciencia*. Como subrayaron Peter Damerow y Wolfgang Lefèvre, entre otros, las herramientas del trabajo también son herramientas para explorar el mundo y hacer especulaciones sobre él: "El desarrollo de la ciencia depende del desarrollo de sus herramientas materiales [...]. Cuando se usa una herramienta material, siempre se puede aprender más que el conocimiento invertido en su invención".[31] Sin embargo, Damerow y Lefèvre también destacan que la ciencia nunca es plenamente independiente de la materialidad de sus instrumentos:

> La ciencia no es libre en la formación de sus abstracciones; en esa actividad está restringida por condiciones materiales previas, más precisamente, por las herramientas específicas a su disposición que proporcionan a la cognición abstracciones susceptibles de ser realizadas [...]. Las herramientas materiales de la labor científica definen un rango de posibilidades objetivas que representan el marco para desarrollar abstracciones científicas.[32]

Sin embargo, las herramientas y las máquinas nunca son completamente transparentes en cuanto a sus implicaciones. Las máquinas nacen como experimentos, y a menudo se utilizan sin pleno conocimiento de su funcionamiento. La

[31] Peter Damerow y Wolfgang Lefèvre, "Tools of Science", en Peter Damerow, *Abstraction and Representation: Essays on the Cultural Evolution of Thinking*, Berlin: Springer, 2013, 401.

[32] Ibid., 400.

ciencia se desarrolla para cubrir esos puntos ciegos en el conocimiento que tenemos de las máquinas, no solo del universo. Por otro lado, la percepción de la naturaleza se basa a menudo en las máquinas, no simplemente debido a la mediación de instrumentos sobre la percepción, sino porque las máquinas han ejercido una influencia indirecta sobre la ontología de paradigmas científicos completos. Por ejemplo, en el siglo XXI, la teoría estándar del tiempo sigue basándose en la flecha irreversible de la entropía que se encontró y conceptualizó, por primera vez, en las cámaras del motor a vapor antes de canonizarse en el segundo principio de la termodinámica.[33] No es exagerado decir que hoy se sigue percibiendo el universo como desde el vientre de un motor industrial.

En 1931, en su conferencia "The Social and Economic Roots of Newton's *Principia*" [Las raíces sociales y económicas del *Principia* de Newton], Boris Hessen consolidó la historia de la ciencia y la tecnología sobre el método del materialismo histórico, argumentando que los esfuerzos de Newton estaban en deuda con las herramientas y máquinas de la época que resultaron ser, como era de esperar, también los principales *medios de producción* de ese tiempo: técnicas de transporte por canales de agua, bombas de agua y poleas utilizadas en la industria minera, nuevas armas de fuego y su control balístico, etc.[34] Más recientemente, Peter Galison explicó la diferencia entre la física newtoniana y la einsteiniana analizando la percepción técnica del tiempo en sus respectivas épocas y la definición de sincronización: un mecanismo de relojería universal centralizado que mantenía un tiempo uniforme en el caso de Newton, mientras que en el caso de Einstein era "un mundo electromecánico" conectado por nuevas redes de comunicación, como el teléfono.[35] Volviendo a la era industrial, la epistemología histórica de la ciencia y la tecnología sugiere que reconsideremos el proyecto de inteligencia de las máquinas como un prisma que refleja múltiples formas de conocimiento. Al extender su definición a una escala temporal mayor, la expresión "inteligencia de las máquinas" adquiere, en definitiva, al menos cuatro significados: (1) el conocimiento humano de la máquina; (2) el conocimiento plasmado en el diseño de la máquina; (3) las tareas humanas

[33] Arthur Stanley Eddington, *The Nature of the Physical World*, Cambridge: Cambridge University Press, 1928; Harold Francis Blum, *Time's Arrow and Evolution*, Princeton, NJ: Princeton University Press, 1955.

[34] Ahora incluido en Gideon Freudenthal y Peter McLaughlin (eds.), *The Social and Economic Roots of the Scientific Revolution: Texts by Boris Hessen and Henryk Grossmann*, Berlin: Springer, 2009.

[35] La epistemología histórica de la ciencia puede adoptar distintos nombres: Andrew Pickering la llamó una "historia de la cibernética"; Galison, una "lectura tecnológica" de los desarrollos teóricos de la ciencia; Henning Schmidgen, una "historia maquínica" (*Maschinen Geschichte*) de la ciencia. Andrew Pickering, "Cyborg History and the World War II Regime", *Perspectives on Science* 3, N° 1, 1995: 1-48; Peter Galison, *Einstein's Clocks, Poincaré's Maps: Empires of Time*, New York: Norton, 2003, 290; Henning Schmidgen, *Hirn und Zeit: Die Geschichte eines Experiments, 1800-1950*, Berlin: Matthes & Seitz 2014, 44.

automatizadas por la máquina, y (4) los nuevos conocimientos del universo posibilitados por su uso.

La Cuestión de la Maquinaria en la era de la IA

La máquina industrial es un artefacto poderoso porque imbrica en una sola cosa las relaciones entre la energía y la materia, el conocimiento y la ciencia, pero, lo más importante, entre el capital y el trabajo. En este sentido, la máquina industrial parece ser la encarnación de muchas de las contradicciones del capitalismo y el *locus* concreto de una lucha social e ideológica. Se ha extendido hasta nuestros días una fascinación similar por la centralidad política de la tecnología, que reitera impresiones ambivalentes de la era industrial. Por ejemplo, en la actualidad, tanto el tecnodeterminismo académico como el tecnosolucionismo corporativo la consideran el centro de la cuestión política. Sin embargo, sería un grave error considerar a la tecnología el *locus único* del conflicto político. Como este libro intenta explicar, las relaciones sociales y, en particular, la cooperación laboral son los "motores" del desarrollo técnico y político. Pero, en sus propios términos, esas relaciones sociales y la propia categoría del trabajo deben ser examinadas. Por cierto, ¿de qué está hecha la cooperación laboral? ¿De qué manera la economía política de los siglos XIX y XX construyó, empleó, narró y analizó la idea de trabajo? No es una pregunta trivial, porque la idea de trabajo que se utiliza aún hoy fue heredada del siglo XIX y es un producto de las audaces confrontaciones políticas de esa época: del trabajo como actividad manual a menudo desprovista de cualquier componente mental.

El capitalismo industrial no fue solo una enérgica intensificación del trabajo y de la producción; fue también una transformación de la división del trabajo y de las relaciones sociales, hasta el punto de convertirse en la matriz de un nuevo tipo de producción de conocimiento: no solo matemático, mecánico y físico, sino conocimiento de muy diversos tipos. A principios del siglo XIX, algunos socialistas ricardianos como Thompson y Hodgskin ya debatían las potencialidades sociales y las implicaciones psíquicas del "trabajo mental", afirmando que el conocimiento es la primera fuente de trabajo. Otros economistas políticos, como Marx, estaban de acuerdo, pero argumentaban que tanto el trabajo mental como el manual, sin distinción, eran la fuente del conocimiento colectivo. Fue cerca de las fábricas de la era industrial que, finalmente, nació la computación moderna, como proyecto para mecanizar la división del trabajo mental, mientras Babbage experimentaba con sus máquinas calculadoras.

En este capítulo se exploró la hipótesis de que, durante la era industrial, el conocimiento y la inteligencia constituían la verdadera transacción oculta entre el trabajo y el capital. Como ya hemos visto, todo trabajo, sin distinción, fue y sigue siendo cognitivo y productor de conocimiento. El componente más importante del trabajo no es la energía y el movimiento (que son fáciles de automatizar y reemplazar), sino el conocimiento y la inteligencia (que están lejos de ser completamente automatizados en la era de la IA). La era industrial también fue el momento de la *acumulación originaria de inteligencia técnica* al despojar al trabajo del conocimiento. Hoy, la IA es la continuación del mismo proceso: es una mecanización y capitalización sistemática del conocimiento colectivo en nuevos aparatos, en conjuntos de datos, algoritmos y modelos estadísticos de aprendizaje automático, entre otras técnicas. En definitiva, no es difícil imaginar a la IA como el último avatar del trabajador colectivo, el *Gesamtarbeiter* que, para Marx, fue el actor principal de la producción industrial. Como veremos, la Cuestión de la Maquinaria del siglo XIX también es de importancia capital para averiguar cómo cuestionar este proceso generalizado de automatización en la era de la IA. De manera acertada, en 2016, *The Economist* publicó un informe especial sobre la IA advirtiendo sobre "El regreso de la Cuestión de la Maquinaria" en "The Return of the Machinery Question".[36]

[36] "The Return of the Machinery Question", informe especial, *The Economist*, junio de 2016, economist.com.

4. LOS ORÍGENES DE LA IDEA DEL "INTELECTO GENERAL" DE MARX

El intelecto general de toda la comunidad, hombres y mujeres, se atrofia o pervierte en la infancia, o más comúnmente ambas cosas, al negar a las mujeres los conocimientos que poseen los hombres [...]. El único remedio, y el más sencillo, para los males que surgen de estas instituciones casi universales de la esclavitud doméstica de la mitad de la humanidad, es erradicarlas por completo. Dar a hombres y mujeres los mismos derechos civiles y políticos.

William Thompson, *An Inquiry into the Principles of the Distribution of Wealth* [Principios de la distribución de la riqueza][1]

Hace casi veinte años que se dio el primer impulso al intelecto general de este país con la introducción de un nuevo sistema mecánico para enseñar a leer y escribir, mediante métodos más baratos y eficaces que los que se utilizaban anteriormente [...]. La mente de la gente ha progresado infinitamente: a pesar de todas las burlas a la frase de la "marcha del intelecto", el hecho es innegable, que el intelecto general del país ha progresado enormemente. Y uno de los primeros frutos de esa inteligencia ampliada ha sido la convicción, que ahora se está convirtiendo rápidamente en algo universal, de que nuestro sistema de derecho, muy lejos de ser el mejor del mundo, es extremadamente malo, y enfrenta la necesidad más apremiante de revisión y reforma.

The London Magazine[2]

El desarrollo del capital fijo indica hasta qué punto el conocimiento social general se ha convertido en una fuerza directa de producción,

[1] William Thompson, *An Inquiry into the Principles of the Distribution of Wealth Most Conducive to Human Happiness Applied to the Newly Proposed System of Voluntary Equality of Wealth*, London: Longman, 1824, 214.

[2] "Education of the People", *London Magazine*, abril de 1828, 1; "Reforms in the Law, N° 1. The History of a Suit", *London Magazine*, junio de 1828, 309.

y en qué medida, por lo tanto, las condiciones del proceso de la vida social misma han quedado bajo el control del intelecto general y se han transformado de acuerdo con él.

Karl Marx, *Grundrisse*

La Marcha del Intelecto

Una caricatura de 1828 del historietista William Heath, de la serie "Marcha del Intelecto", muestra a un autómata gigante avanzando a grandes zancadas y empuñando una escoba para barrer una masa polvorienta de oficinistas, clérigos y burócratas, que representaban figuras del viejo orden y leyes obsoletas (ver fig. 4.1). El vientre del autómata es un motor a vapor, mientras que la cabeza está hecha de libros de historia, filosofía y (significativamente) mecánica. La corona ostenta la leyenda "Universidad de Londres". En el fondo, la diosa de la Justicia está desplomada en el suelo, invocando al autómata: "¡Ay, ven a rescatarme!". Aunque a primera vista la caricatura podría parecer un canto a los ideales democráticos y al avance intelectual, si se observa con más detenimiento, la caricatura pretende ridiculizar la creencia de que las tecnologías de automatización industrial (que ya se parecen a los robots) podrían convertirse en un verdadero agente de cambio político y emancipación social bajo el mando de la educación pública. De hecho, fueron los conservadores quienes, en un principio, encargaron a Heath esa serie de grabados satíricos para expresar su sarcasmo ante una posible democratización del conocimiento y la tecnología en todas las clases. No obstante, a fuerza de su pluma visionaria, se convirtieron en un manifiesto accidental del progresismo y la invención del futuro.[3]

Iniciada en Inglaterra como una campaña durante la Revolución Industrial, la Marcha del Intelecto, o "Marcha de la Mente", exigía remediar los males de la sociedad a través de programas de educación pública para las clases bajas.[4] La expresión "Marcha del Intelecto" fue acuñada por Robert Owen, empresario industrial y socialista utópico, en una carta a *The Times* en 1824, señalando que en los últimos años "la mente humana ha hecho avances más rápidos e importantes en el conocimiento de la naturaleza humana, y en el

[3] "A pesar de que Heath estaba satirizando el movimiento, sus dibujos incluían ideas maravillosas sobre el transporte, como un caballo a vapor y una diligencia a vapor, un tubo de vacío, un puente a Ciudad del Cabo y varias formas de vuelo, incluido un cartero volador". Mike Ashley, "Inventing the Future", British Library blog, 15 de mayo de 2014, bl.uk.

[4] Ver Don Herzog, *Poisoning the Minds of the Lower Orders*, Princeton, NJ: Princeton University Press, 2000.

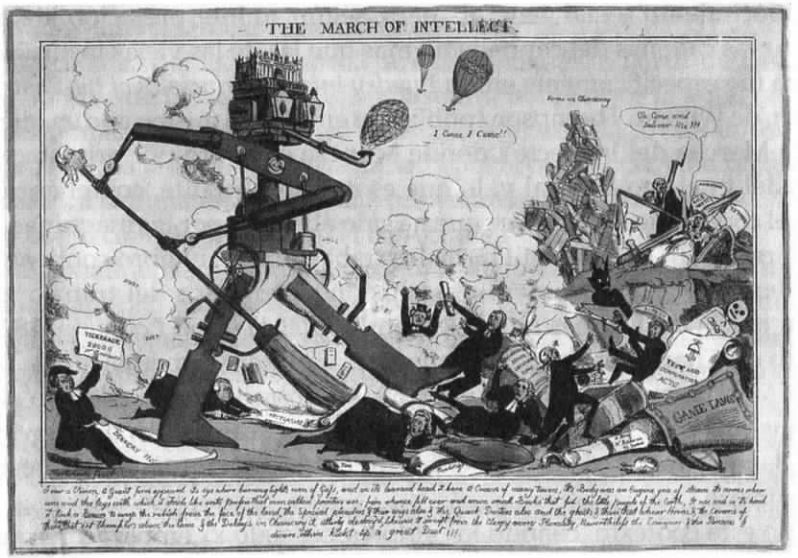


Figura 4.1. William Heath, "La Marcha del Intelecto", circa 1828, grabado, British Museum.

conocimiento general".[5] La campaña desencadenó un contragolpe reaccionario y racista, nada sorprendente: *The Times* empezó a burlarse de las ambiciones de la clase obrera con titulares sarcásticos de la peor mentalidad colonialista, como "La Marcha del Intelecto en África".[6] Como campaña para el progreso en cuanto a la alfabetización y la tecnología, la Marcha del Intelecto formó parte de la llamada Cuestión de la Maquinaria que se trató en el capítulo anterior. En 1828, *The London Magazine* apoyó la Marcha del Intelecto en beneficio del "intelecto general del país", que, según argumentaban sus editores, gracias a la educación de las masas, entendería la necesidad de reformar un sistema legislativo en decadencia.[7] En 1858, cuando Marx usó la expresión "intelecto general" (en inglés) en el famoso "El fragmento sobre las máquinas" de los *Grundrisse*, se estaba haciendo eco del clima político de la Marcha del Intelecto y el poder

[5] Ashley, "Inventing the Future".

[6] Ver Michael Hancher, "Penny Magazine: March of Intellect in the Butchering Line", en Nineteenth-Century Media and the Construction of Identities, Laurel Brake, Bill Bell y David Finkelstein, London: Palgrave, 2016, 93.

[7] *The London Magazine*, ediciones de abril y junio de 1828. Ver epígrafe del capítulo.

del "conocimiento social general" para, según su interpretación, debilitar y subvertir las cadenas del capitalismo más que las de las viejas instituciones.[8]

Pero fue específicamente en *An Inquiry into the Principles of the Distribution of Wealth*, de William Thompson (publicado en 1824, el mismo año en que Owen lanzó la Marcha del Intelecto), donde Marx se encontró por primera vez con la idea del intelecto general y, lo que es más importante, con el argumento de que el conocimiento, una vez que ha sido alienado por las máquinas, puede convertirse en un poder hostil hacia los trabajadores.[9] El libro contiene lo que probablemente sea la primera descripción sistemática del trabajo mental, seguida por la de Thomas Hodgskin en *Popular Political Economy* (1827) y el proyecto de Charles Babbage para mecanizar el trabajo mental en *On the Economy of Machinery and Manufactures* (1832).[10] Posteriormente, debido al ocaso de los institutos de mecánica y las decisiones tácticas dentro del movimiento obrero, la idea de trabajo mental encontró un destino hostil en la Cuestión de la Maquinaria.

Dado este contexto, cuando los autores del siglo XX empezaron a analizar la llamada sociedad del conocimiento y creyeron que estaban debatiendo por primera vez las formas de trabajo simbólico, informático y digital, en realidad estaban operando en un área de amnesia política. De hecho, el propio Marx fue en parte responsable de provocar esa amnesia.[11] Si bien se comprometió con la economía política de Thompson y Hodgskin, consideraba su énfasis en el trabajo mental como la celebración de la creatividad individual —como el culto al artesano talentoso, al ingenioso fabricante de herramientas y al valiente ingeniero— *frente* al trabajo en común: en *El capital*, Marx sustituyó intencionadamente al trabajador mental por el "trabajador colectivo" o *Gesamtarbeiter*. La negativa de Marx a emplear el concepto de trabajo mental se debía a la dificultad de movilizar el conocimiento colectivo en campañas del lado de los trabajadores. La sustancia del conocimiento y la educación es tal que solo pueden ser convocados

[8] Karl Marx, *Grundrisse: Foundations of the Critique of Political Economy*, trad. Martin Nicolaus, London: Penguin, 1993, 690-71.

[9] Thompson, *Principles of the Distribution of Wealth*.

[10] Thomas Hodgskin, *Popular Political Economy: Four Lectures Delivered at the London Mechanics Institution*, London: Tait, 1827; Charles Babbage, *On the Economy of Machinery and Manufactures*, London: Charles Knight, 1832.

[11] En *El capital* (493), Marx se refiere a la distinción que hace Wilhelm Schulz entre herramienta y máquina, pero sin comentar la descripción de Schulz de la producción intelectual (*geistige Produktion*) de *Die Bewegung der Produktion* (Zurich, 1843). Karl Marx, *Das Kapital. Kritik der politischen Ökonomie*, vol. 1, Hamburg: Meissner, 1867; *Capital: A Critique of Political Economy*, vol. 1, trad. Ben Fowkes, London: Penguin, 1981. Ver Walter Grab, *Dr. Wilhelm Schulz aus Darmstadt. Weggefährte von Georg Büchner und Inspirator von Karl Marx*, Frankfurt am Main: Gutenberg, 1987. Gracias a Henning Schmidgen por esta referencia.

para batallas universalistas (por el "intelecto general del país") y no por las luchas partidistas del lado del proletariado. Además, a partir de *La ideología alemana*, la idea de Hegel de espíritu absoluto pareció ser la antagonista del método del materialismo histórico de Marx: Marx trasladó su famoso pasaje antihegeliano, "la vida no está determinada por la conciencia, sino la conciencia por la vida", a la Inglaterra industrial, para afirmar que el trabajo no está determinado por el conocimiento, sino el conocimiento por el trabajo.[12]

Tradicionalmente, para el marxismo, la distinción entre trabajo manual y mental se evapora frente al capital en la medida en que cualquier tipo de trabajo es *trabajo abstracto*, es decir, trabajo medido y monetizado en beneficio de la producción de plusvalía. Lo que sigue comparte ese punto de partida tradicional, pero se aparta de las posturas marxistas ortodoxas. Me gustaría considerar que cualquier interfaz maquínica con el trabajo es una relación social, tanto como el capital, y que la máquina, tanto como el dinero, media la relación entre el trabajo y el capital.[13] Pensando con Marx y más allá de él, quiero subrayar que cualquier tecnología influye en el criterio de medición del trabajo abstracto. Con ese fin, este capítulo rastrea los orígenes del intelecto general de Marx para reconsiderar cuestiones no resueltas de la economía política temprana, como la econometría del conocimiento, que son cada vez más relevantes en la actualidad.[14] En los debates actuales sobre la alienación del conocimiento colectivo en la IA corporativa, seguimos oyendo, efectivamente, los ecos toscos de la Cuestión de la Maquinaria del siglo XIX.

El descubrimiento de "El fragmento sobre las máquinas" de Marx

Los sofisticados conceptos de trabajo mental y economía del conocimiento aparecieron en los albores de la era victoriana, y ya entonces se hicieron interpretaciones radicales sobre ellos. Por ejemplo, Marx abordó los roles económicos de la cualificación, el conocimiento y la ciencia en sus *Grundrisse*, específicamente

[12] Karl Marx y Friedrich Engels, *Die deutsche Ideologie* (1846), 1ra ed., Moscú: Marx-Engels Institute, 1932; Karl Marx y Friedrich Engels, *The German Ideology*, ed. C. J. Arthur, New York: International Publishers, 1970.

[13] Esta idea, que podría denominarse *teoría laboral del valor mediado por la maquinaria*, apunta a otra problemática en la cual la tecnología asumiría algunas características de la forma dinero.

[14] En el siglo XIX, los fisiólogos y los economistas políticos trataban de descubrir una "metrología" del "trabajo cerebral"; según Schaffer, los intentos por cuantificar la inteligencia con la ayuda de instrumentos contribuyeron al proyecto de la inteligencia artificial en el siglo siguiente. Ver Simon Schaffer, "OK Computer", en *Ecce Cortex: Beitraege zur Geschichte des modernen Gehirns*, ed. Michael Hagner, Göttingen: Wallstein Verlag, 1999, 254-285.

en la sección que se conoce como "El fragmento sobre las máquinas". Marx exploró allí una hipótesis poco ortodoxa que no sería reiterada en *El capital*: que debido a la acumulación de intelecto general (en particular, como conocimiento científico y técnico encarnado en la maquinaria), el trabajo pasaría a ser secundario frente a la acumulación capitalista, provocando una crisis de la teoría laboral del valor y haciendo saltar por los aires los cimientos del capitalismo.[15] Después de 1989, "El fragmento sobre las máquinas" de Marx fue resucitado por el *postoperaísmo* italiano, como una crítica premonitoria de la transición al posfordismo y los paradigmas de la sociedad del conocimiento y la economía de la información.[16] Desde entonces, muchos autores —incluidos algunos ajenos al marxismo— movilizaron este fragmento esotérico como una profecía de diferentes crisis económicas, especialmente después de la burbuja de internet y el desplome bursátil del 2000. La manera en que "El fragmento sobre las máquinas" de Marx ha llegado incluso hasta el debate sobre la inteligencia artificial y el poscapitalismo es una aventura filológica que vale la pena recapitular.[17]

Los *Grundrisse* son "una serie de siete cuadernos de borradores redactados por Marx, con el propósito principal de aclarar sus propias ideas, durante el invierno de 1857-58".[18] De hecho, los cuadernos muchas veces revelan el método de investigación y subtexto de *El capital*, publicado una década más tarde. Sin

[15] Esa hipótesis visionaria no volvió a surgir en *El capital*, nuevamente como resultado de las circunstancias históricas. Los cuadernos 6 y 7 fueron escritos durante el invierno de 1857-1858, en medio de una crisis financiera, mientras que *El capital* fue publicado una vez terminada la crisis.

[16] Es posible reconstruir sucintamente las fuentes primarias del debate complejo sobre el intelecto general de Marx como vemos a continuación: Paolo Virno, "Citazioni di fronte al pericolo", *Luogo comune* 1 (noviembre de 1990), traducido por Cesare Casarino como "Notes on the General Intellect", en *Marxism beyond Marxism*, ed. Saree Makdisi *et al.*, New York: Routledge, 1996, 265-272; Christian Marazzi, *Il posto dei calzini: La svolta linguistica dell'economia e i suoi effetti sulla politica*, Torino: Bollati Boringhieri, 1994, traducido por Giuseppina Mecchia como *Capital and Affects: The Politics of the Language Economy*, New York: Semiotext(e), 2011; Maurizio Lazzarato y Antonio Negri, "Travail immatériel et subjectivité", Futur antérieur 6, 1991: 86-99; Paolo Virno, *Grammatica della Moltitudine*, Rome: Derive Approdi, 2002, traducido por Isabella Bertoletti *et al.* como *A Grammar of the Multitude*, New York: Semiotext(e), 2004; Carlo Vercellone, "From Formal Subsumption to General Intellect: Elements for a Marxist Reading of the Thesis of Cognitive Capitalism", *Historical Materialism* 15, N° 1, 2007: 13-36. Probablemente la primera recepción de este debate en inglés sea Nick Dyer-Witheford, *Cyber-Marx: Cycles and Circuits of Struggle in High-Technology Capitalism*, Champaign: University of Illinois Press, 1999. Ver Michael Hardt y Antonio Negri, Empire, Cambridge, MA: Harvard University Press, 2000. Sobre una crítica de la interpretación del operaísmo, ver Michael Heinrich, "The Fragment on Machines: A Marxian Misconception in the Grundrisse and Its Overcoming in Capital", y Tony Smith, "The General Intellect in the Grundrisse and Beyond", *In Marx's Laboratory: Critical Interpretations of the Grundrisse*, ed. Riccardo Bellofiore *et al.*, Leiden: Brill, 2013, 195-212, 213-231.

[17] Ver Paul Mason, "The End of Capitalism Has Begun", *Guardian*, 17 de julio de 2015; y Paul Mason, *Postcapitalism: A Guide to Our Future*, London: Macmillan, 2016. Ver también MacKenzie Wark, *General Intellects*, London: Verso, 2017.

[18] Martin Nicolaus, "Foreword", en Marx, *Grundrisse*, 7.

embargo, los *Grundrisse* permanecieron inéditos hasta el siglo xx —en Moscú en 1939 y en Berlín en 1953—, lo que implica que su recepción entró en los debates marxistas casi un siglo después de la publicación de *El capital*. Si bien en 1956 empezó a circular una traducción incompleta al italiano, la traducción completa al inglés no estuvo disponible hasta 1973.[19] La denominación "El fragmento sobre las máquinas" para definir específicamente los cuadernos 6 y 7 de los *Grundrisse* se volvió canónica debido a la decisión editorial de Raniero Panzieri, quien publicó su traducción bajo el título de "Frammento sulle macchine" en la edición de 1964 de *Quaderni Rossi*, la revista del *operaísmo* italiano.[20] Ese mismo año, el filósofo alemán Herbert Marcuse se basó en los cuadernos 6 y 7 para su libro *El hombre unidimensional*, al hablar del potencial emancipador de la automatización. En 1972, en una nota al pie de *El Anti Edipo*, Gilles Deleuze y Félix Guattari también se refirieron a ellos como el "capítulo sobre la automatización".[21] Ese mismo año, se publicaron parcialmente en inglés como "Notes on Machines" [Notas sobre las máquinas] en la revista *Economy and Society*.[22] En 1978, Antonio Negri hizo un comentario extenso sobre el "capítulo sobre las máquinas" en su seminario *Marx Beyond Marx* [Marx más allá de Marx], en París (por invitación de Louis Althusser), interpretándolo en el contexto del antagonismo social de la década anterior. Pero no fue hasta la caída del Muro de Berlín que el *postoperaísmo* italiano redescubrió y promovió "El fragmento sobre las máquinas". En 1990, el filósofo Paolo Virno llamó la atención sobre el concepto de intelecto general en la revista *Luogo comune*. Rindiéndole un irónico homenaje al *Spaghetti Western*, ya advertía sobre los ciclos de renacimiento del concepto:

> A veces, en los *westerns*, el héroe, cuando se enfrenta al más concreto de los dilemas, cita un pasaje del Antiguo Testamento [...]. Así es como se ha leído y citado "el fragmento sobre las máquinas" de Karl Marx desde principios de la década de 1960. Hemos consultado una y otra vez esas páginas [...] para encontrarle sentido a la calidad sin precedentes de las huelgas obreras, a la introducción de robots en las líneas de montaje y computadoras en las oficinas, y a cierto tipo de comportamientos juveniles. La historia

[19] Marcello Musto, "Dissemination and Reception of the Grundrisse in the World", en *Karl Marx's Grundrisse*, ed. Marcello Musto, London: Routledge, 2008, 207-216.

[20] Karl Marx, "Frammento sulle macchine", trad. Renato Solmi, *Quaderni Rossi* 4, 1964.

[21] Gilles Deleuze y Félix Guattari, *Anti-Oedipus: Capitalism and Schizophrenia*, vol. 1, trad. Robert Hurley *et al.*, Minneapolis: University of Minnesota Press, 1983. Ver también Matteo Pasquinelli, "Italian Operaismo and the Information Machine", *Theory, Culture and Society* 32, N° 3, 2015.

[22] Karl Marx, "Notes on Machines", *Economy and Society* 1, N° 3, 1972.

de las sucesivas interpretaciones del "fragmento" es una historia de crisis y de nuevos comienzos.[23]

Virno explicó que el "fragmento" fue citado en la década de 1960 para cuestionar la supuesta neutralidad de la ciencia en la producción industrial, en la década de 1970, como crítica a la ideología del trabajo en el socialismo de estado y, finalmente, en la década de 1980, como reconocimiento a las tendencias del posfordismo, pero sin ninguna inversión emancipadora o conflictiva, como Marx habría deseado. Mientras que los eruditos marxistas aspiraban a un mayor rigor filológico en su lectura del intelecto general, los militantes actualizaban su interpretación en el contexto de las transformaciones y luchas sociales actuales.[24] El *postoperaísmo* es famoso por haber forjado nuevos conceptos antagónicos a partir del intelecto general de Marx, como "trabajo inmaterial", "intelectualidad de masas" y "capitalismo cognitivo", subrayando la autonomía del "conocimiento vivo" frente al capital. Sin embargo, una lección que vale la pena recordar de la Cuestión de las Máquinas tratada en el capítulo anterior es que el tema del conocimiento colectivo nunca debe separarse de su materialización en máquinas, instrumentos de medición y *Kulturtechniken*. En efecto, el empleo de la inteligencia artificial en el siglo xx ha recordado bruscamente a todo el mundo que el conocimiento puede analizarse, medirse y automatizarse con tanto éxito como el trabajo manual.

Los estudiosos se han preguntado de dónde procede la expresión "intelecto general", ya que solo aparece una vez, en inglés, en los *Grundrisse*. Virno creyó haber detectado el eco del *nous poietikos* de Aristóteles y el *volonté générale* de Rousseau.[25] Como el "fragmento" sigue líneas de argumentación que son similares a los capítulos 14 y 15 de *El capital* sobre la división del trabajo y la maquinaria, no sorprende que sea posible encontrar las fuentes perdidas en las notas al pie de esos capítulos de *El capital*. Estas líneas de argumentación en común se hacen eco, principalmente, de la teoría de la maquinaria de Babbage y, siguiendo la lectura que Marx hace de Babbage en el capítulo 14 de *El capital*,

[23] Virno, "Notes".

[24] Wolfgang Fritz Haug advirtió que los orígenes nebulosos del intelecto general contribuían a que se usara como un eslogan, "a costa de la arbitrariedad teórica". Haug afirma que el intelecto general pertenece a una galaxia de términos marxianos similares a tener en cuenta, como "trabajo social general", "trabajo científico general", "acumulación del saber y de la habilidad, las fuerzas productivas generales del cerebro humano", "progreso general", "desarrollo de las capacidades generales del cerebro humano", "conocimiento social general", "intelecto social". Wolfgang Fritz Haug, "Historical-Critical Dictionary of Marxism: General Intellect", *Historical Materialism* 18, N° 2, 2010.

[25] Virno, "Notes".

puede rastrearse de manera confiable el concepto de intelecto general hasta la idea de William Thompson de "trabajo del conocimiento".

Babbage según Marx

En 1832, Babbage aconsejaba a sus colegas industriales: "Las fábricas [de Inglaterra] contienen una rica mina de conocimientos que, por lo general, no son tenidos en cuenta por las clases más acaudaladas".[26] Siguiendo esta invitación a los talleres fabriles como "lugares mundanos de inteligencia", Simon Schaffer descubre que "el lector londinense más perspicaz de Babbage" fue Marx.[27] Efectivamente, Marx ya había citado a Babbage en *La miseria de la filosofía*, durante su exilio en Bruselas en 1847 y, desde entonces, adoptó dos principios analíticos que serían fundamentales en *El capital* para la elaboración de una sólida teoría de la máquina y para la fundamentación de la teoría de la plusvalía relativa.

El primero es la *teoría laboral de la máquina*, que establece que una nueva máquina viene a imitar y sustituir una división del trabajo previa. Como analizamos anteriormente, esa es una idea que ya había formulado Adam Smith, pero fue mejor articulada por Babbage debido a que poseía una mayor experiencia técnica. El segundo principio analítico es el "principio de Babbage", que también fue tratado anteriormente, que aquí se lo denominó *principio del cálculo del trabajo*. Afirma que la organización de un proceso de producción en tareas pequeñas (la división del trabajo) permite calcular y adquirir con precisión la cantidad de trabajo necesaria para cada tarea (la división del valor). En este sentido, la división del trabajo no solo proporciona el diseño de la maquinaria, sino también una configuración económica para calibrar y calcular la extracción del plustrabajo. En formas de administración complejas como el taylorismo, el principio de la modulación del plustrabajo presenta una visión del trabajo como un mecanismo de relojería, que puede subdividirse y recomponerse en conjuntos algorítmicos. La síntesis de ambos principios analíticos describe idealmente la máquina como un aparato que vuelve a proyectar de manera activa una nueva articulación y criterios de medición del trabajo. En las páginas de *El capital*, la máquina industrial no parece ser solo un regulador para disciplinar el trabajo, sino también una calculadora para medir la plusvalía relativa, haciéndose eco de la exactitud numérica de las máquinas calculadoras de Babbage.

[26] Babbage, *On the Economy of Machinery*, vi.

[27] Simon Schaffer, "Babbage's Intelligence: Calculating Engines and the Factory System", *Critical inquiry* 21, N° 1, 1994, 204.

Entonces, voy a leer los *Grundrisse* y *El capital* a través de la lente de los dos principios analíticos de Babbage. Veremos cómo la teoría laboral de la máquina de Babbage es utilizada por Marx para plantear la figura del trabajador colectivo como una especie de reencarnación del intelecto general y, además, cómo el principio de modulación del plustrabajo de Babbage es usado para esbozar la idea de la plusvalía relativa. Analizados en conjunto, los dos principios muestran que el intelecto general de los *Grundrisse* evoluciona en *El capital* para convertirse en un trabajador colectivo maquínico, casi con los rasgos de un organismo protocibernético, y la máquina industrial se transforma en una calculadora de la plusvalía relativa que produce ese *cyborg*.

Al abordar la relación entre trabajo y maquinaria, conocimiento y capital, Marx se encontró inmerso en una dialéctica híbrida entre el idealismo alemán y la economía política británica. La argumentación similar en los *Grundrisse* y en *El capital* en las secciones dedicadas a la maquinaria y la división del trabajo sigue cuatro movimientos, que detallaré a continuación: (1) la invención de la maquinaria a través de la división del trabajo, (2) la alienación del conocimiento por parte de la maquinaria, (3) la devaluación del capital por parte de la acumulación de conocimiento, y (4) el surgimiento del trabajador colectivo.

La invención de la maquinaria a través de la división del trabajo

¿Quién es el inventor de la máquina? ¿El trabajador, el ingeniero o el dueño de la fábrica? ¿La ciencia, el ingenio o el trabajo? Como miembro de la Royal Society, Babbage elogiaba públicamente los dones de la ciencia, pero sostenía que la maquinaria emerge como reemplazo de la división del trabajo. Como ya hemos comentado, Babbage estaba comprometido con una *teoría laboral de la máquina*, ya que, para él, el diseño de una nueva máquina siempre imita el diseño de una división del trabajo previa. En *La miseria de la filosofía* (1847), Marx ya usaba a Babbage contra Proudhon, quien pensaba que la maquinaria es la *antítesis* de la división del trabajo. Marx argumentaba lo contrario, que la maquinaria surge como la *síntesis de la división del trabajo*. "Cuando, por la división del trabajo, cada operación particular se ha simplificado al punto de usar un solo instrumento, la vinculación de todos estos instrumentos, puesta en marcha por un solo motor, constituye una máquina".[28] Tiempo después, en los *Grundrisse*,

[28] Babbage, *On the Economy of Machinery*, citado en Karl Marx, *The Poverty of Philosophy*, Moscú: Progress Publishers, 1955, 121.

Marx siguió basándose en Babbage para hacer hincapié en que la tecnología no se crea mediante el "análisis" de la naturaleza por parte de la ciencia, sino mediante el "análisis" del trabajo:

> En primer lugar, es el análisis [*Analyse*] y la aplicación de leyes mecánicas y químicas, que surgen directamente de la ciencia, lo que le permite a la máquina realizar el mismo trabajo que antes realizaba el trabajador. Sin embargo, el desarrollo de la maquinaria por esta vía solo se da cuando la gran industria ya ha alcanzado un nivel superior y todas las ciencias se han puesto al servicio del capital [...]. Entonces, la invención se convierte en un negocio y la aplicación de la ciencia para dirigir la propia producción se convierte en una perspectiva que la determina y la solicita. Pero esta no es la vía por la cual, en general, surgió la maquinaria, y menos aún la vía por la cual evoluciona en detalle. Esta vía es, más bien, la disección [*Analyse*], a través de la división del trabajo, que transforma gradualmente las operaciones de los trabajadores en tareas cada vez más mecánicas, para que en un momento dado un mecanismo pueda ocupar su lugar.[29]

Marx también adoptó la teoría de Babbage metodológicamente, incluso en *El capital*, donde el capítulo sobre la maquinaria sigue al capítulo sobre la división del trabajo. Existe una homología estructural entre el diseño de maquinaria y la división del trabajo, como destaca el argumento de Marx: "La máquina es un mecanismo que, después de ponerse en marcha, realiza con sus instrumentos las mismas operaciones que realizaba antes el trabajador con herramientas similares".[30] En una nota al pie, se refiere a la sintética definición de Babbage de máquina ("La unión de todos esos instrumentos simples, puesta en marcha por un motor, constituye una máquina") y ofrece su propia paráfrasis:

> La máquina, que es el punto de partida de la revolución industrial, reemplaza al trabajador, que manipula una sola herramienta, por un mecanismo que opera con una cantidad de herramientas similares y es impulsado por una fuerza única, sea cual sea la forma de esa fuerza.[31]

Es en este punto de *El capital* que Marx promueve un principio analítico adicional que ejercería una influencia enorme en la metodología de la historia de

[29] Marx, *Grundrisse*, 704.
[30] Marx, *Capital*, 495.
[31] Ibid., 497.

la ciencia y la tecnología del siglo xx.[32] Después de cuestionar la creencia de que la ciencia, y no el trabajo, es el origen de la máquina, Marx invierte la percepción del motor a vapor como el primer catalizador de la Revolución Industrial. En cambio, sostiene que es el crecimiento de la división del trabajo, sus herramientas y "máquinas herramienta" lo que "requiere una fuerza motriz más poderosa que la del hombre", una fuente de energía que se encontrará en el vapor.[33] No fue la invención del motor a vapor (*medio de producción*) lo que desencadenó la Revolución Industrial (como popularmente se teoriza en el discurso ecológico), sino la evolución del capital y del trabajo (*relaciones de producción*) que exigían una fuente de energía más potente:[34]

> El propio motor a vapor, tal como fue inventado durante el período manufacturero a fines del siglo xvii, y tal como continuó siendo hasta 1780, no dio lugar a ninguna revolución industrial. Por el contrario, fue la invención de máquinas [herramienta] [*Werkzeugmaschinen*] lo que hizo necesaria una revolución en forma de motores a vapor.[35]

El "monstruo mecánico" de la fábrica industrial fue invocado primero por el trabajo y después acelerado por la energía de vapor, y no al revés.[36] Marx fue claro: la génesis de la tecnología es un *proceso emergente* impulsado por la división del trabajo. Es a partir de la materialidad del trabajo colectivo, de formas conscientes e inconscientes de cooperación que surgen los aparatos ampliados de las máquinas. Aquí, la inteligencia reside en las ramificaciones de la cooperación humana más que en el trabajo mental individual. La inteligencia de las máquinas refleja, encarna y amplifica la inteligencia analítica del trabajo colectivo.[37]

[32] Ver Gideon Freudenthal y Peter McLaughlin (eds.), *The Social and Economic Roots of the Scientific Revolution: Texts by Boris Hessen and Henryk Grossmann*, Berlin: Springer, 2009.

[33] "El aumento del tamaño de la máquina y de la cantidad de herramientas de trabajo exige un mecanismo más grande para accionarla; y este mecanismo, para vencer su propia inercia, requiere una fuerza motriz más potente que la del hombre". Marx, *Capital*, 497.

[34] Marx es considerado erróneamente un *tecnodeterminista*, por la importancia que concede a la maquinaria en el capitalismo, pero si es determinista, lo es en cuanto a las *relaciones de producción* y no a los *medios de producción*, ya que la división del trabajo, y no la tecnología, es la fuerza motriz del capital. "La inclusión de la fuerza de trabajo como fuerza de producción admite de este modo acción humana consciente como determinante de la historia: son las personas, tanto o más que las máquinas, las que hacen la historia". Donald MacKenzie, "Marx and Machine", *Knowing Machines*, Cambridge, MA: MIT Press, 1998, 26.

[35] Marx, *Capital*, 496.

[36] Ibid., 507.

[37] Con respecto a la idea de inteligencia analítica, ver Lorraine Daston, "Calculation and the Division of Labour, 1750-1950", *Bulletin of the German Historical Institute* 62 (Primavera 2018): 9-30.

La alienación del conocimiento por parte de la maquinaria

"Lo que distingue desde el comienzo al peor de los arquitectos de la abeja más experta es que el arquitecto construye la celda en su mente antes de construirla en cera".[38] Este es el reconocimiento que Marx hace en *El capital* del trabajo como actividad mental e individual. No obstante, la división colectiva del trabajo, o trabajo en común, sigue siendo el *inventor político* de la máquina.[39] Tan pronto como la maquinaria aparece en lugar de la mano de obra, se inicia un proceso de alienación de la habilidad y el conocimiento. Las herramientas pasan de las manos del trabajador a las manos de la máquina, y se desarrolla el mismo proceso con el conocimiento de los trabajadores: "Junto con la herramienta, la habilidad del trabajador para manejarla pasa a la máquina".[40] Como tal, la máquina es solo una cristalización del conocimiento colectivo. Marx condena esta alienación de la mente humana, apoyando a Owen:

> Desde la introducción generalizada de mecanismos inanimados en las fábricas británicas, las personas, salvo raras excepciones, han sido tratadas como una máquina secundaria e inferior; y se ha prestado mucha más atención al perfeccionamiento de la materia prima de la madera y los metales que la del cuerpo y la mente.[41]

La introducción de la maquinaria marca un dramático giro dialéctico en la historia del trabajo, donde el trabajador deja de ser el *sujeto* de la máquina y pasa a ser el *objeto* del capital: "La herramienta manual independiza al trabajador, lo presenta como propietario. La maquinaria —como capital fijo— lo presenta como dependiente, lo presenta como una propiedad".[42] Este cambio de poder entre el ser humano y la máquina en la época victoriana es también

[38] Marx, *Capital*, 284.

[39] Hodgskin le dio gran importancia a la observación (es decir, al diseño mental) en la invención de maquinaria.

[40] Marx, *Capital*, 545.

[41] Robert Owen, "Essays on the Formation of the Human Character" (1840), citado en Marx, *Grundrisse*, 711.

[42] Marx, *Grundrisse*, 702. Marx también cita a Hodgskin en 709: "En cuanto se desarrolla la división del trabajo, casi toda parte de un trabajo realizada por un solo individuo forma una parte de un todo, que no tiene valor ni utilidad por sí misma. No hay nada de lo que el trabajador pueda apoderarse: esto es mi producto, esto me lo quedo para mí".

el inicio de una nueva imaginería, en la cual las máquinas adquieren los rasgos de los vivos, y los trabajadores, los de los autómatas:[43]

> Es la máquina la que posee la habilidad y la fuerza en lugar del trabajador, ella misma es la virtuosa, con alma propia en las leyes mecánicas que actúan a través de ella [...]. La actividad del trabajador, reducida a una mera abstracción de actividad, está determinada y regulada en todos los aspectos por el movimiento de la maquinaria, y no al revés. La ciencia que obliga a los miembros inanimados de la maquinaria, por su construcción, a actuar intencionadamente, como un autómata, no existe en la conciencia del trabajador, sino que actúa sobre él a través de la máquina como una fuerza extraña, como el poder de la propia máquina.[44]

La reflexión sobre la alienación del conocimiento respecto de los trabajadores continúa en *El capital*, donde Marx hace que el proceso de extracción de conocimiento culmine en la plena separación de la ciencia como agente productivo del trabajo:

> El conocimiento, el juicio y la voluntad que, aunque en pequeña medida, ejerce el campesino independiente o el artesano, del mismo modo que el salvaje hace que todo el arte de la guerra consista en el ejercicio de su astucia personal, son facultades que ahora solo se requieren para la fábrica en su conjunto. La posibilidad de una dirección inteligente de producción se expande en una dirección, porque desaparece en muchas otras. Lo que pierden los trabajadores especializados se concentra en el capital que los confronta. Como consecuencia de la división del trabajo en la industria manufacturera, el trabajador se enfrenta a las potencialidades intelectuales [*geistige Potenzen*] del proceso material de producción como propiedad de otro y como poder que gobierna sobre él. Este proceso de separación empieza en la simple cooperación, donde el capitalista representa, para los trabajadores individuales, la unidad y la voluntad de todo el cuerpo del trabajo social. Se desarrolla en la fábrica, que mutila al trabajador, convirtiéndolo en un fragmento de sí mismo. Se completa en la gran industria, que hace de la ciencia una potencialidad para la producción distinta del trabajo y la pone al servicio del capital.[45]

[43] Simon Schaffer, "Babbage's Dancer and the Impresarios of Mechanism", en *Cultural Babbage*, ed. Francis Spufford and Jenny Uglow, London: Faber & Faber, 1997, 53-80.
[44] Marx, *Grundrisse*, 692-693.
[45] Marx, *Capital*, 482.

Marx comenta este último pasaje de *El capital* con una nota a pie de página sobre *Inquiry into the Principles of the Distribution of Wealth* de Thompson, que es necesario repetir:

> El hombre con conocimientos y el trabajador productivo terminan separándose ampliamente el uno del otro, y el conocimiento, en lugar de seguir siendo el siervo del trabajo en manos del trabajador para aumentar sus capacidades productivas [...] se ha alineado casi en todas partes contra el trabajo". "El conocimiento" se convierte en "un instrumento, susceptible de desprenderse del trabajo y de oponerse a él".[46]

Thompson ofrece una definición de trabajo del conocimiento anterior a los teóricos de la sociedad del conocimiento y del trabajo cognitivo del siglo XX. Como ya vimos en el capítulo anterior, Thompson siempre incluía en la definición de trabajo "la cantidad de conocimiento necesario para su dirección" sin la cual el trabajo "no sería más que fuerza bruta".[47] En una polémica típica del owenismo, Thompson describía que la maquinaria humillaba las "capacidades intelectuales generales" de los trabajadores que quedaban reducidos a la condición de "autómatas entrenados". Por consiguiente, la fábrica es un aparato para mantener a los trabajadores "en la ignorancia de los resortes secretos que regulaban a la máquina y que reprimían las capacidades generales de sus mentes", de modo que "los frutos de su propio trabajo les fueran arrebatados por cien artificios".[48] En distintos pasajes, Thompson usó las expresiones "intelecto general", "capacidad intelectual general", "conocimiento general" y "capacidad general de la mente" en resonancia directa con términos idénticos o equivalentes usados por Marx en los *Grundrisse*, tales como "trabajo social general", "trabajo científico general", "fuerzas productivas generales del cerebro humano", "conocimiento social general" e "intelecto social".[49] Es importante destacar que, como se indica en el epígrafe inicial de este capítulo, Thompson estableció un vínculo directo entre la construcción de un intelecto general masculino, principalmente blanco, y las cuestiones de discriminación racial y de género. Según Thompson, la gente es racista y machista debido a la falta de conocimientos y educación:

[46] Ibid., 483. Thompson, *Principles of the Distribution of Wealth*, 274.
[47] Thompson, *Principles of the Distribution of Wealth*, 272.
[48] Ibid., 292.
[49] Ibid., 272-362.

> ¿Por qué también, se puede preguntar en respuesta, se ha establecido la esclavitud de los negros y de las mujeres? Porque los blancos en un caso, porque los hombres en el otro caso, hacían las leyes: porque no se habían obtenido conocimientos sobre esos temas, los blancos y los hombres concibiendo erróneamente que era su interés oprimir a los negros y a las mujeres.[50]

Marx, por su parte, también reconoció las psicopatologías del trabajo industrial y las tácticas para mantener a la fuerza de trabajo lo más analfabeta posible. Citó al mentor de Adam Smith, el filósofo escocés Adam Ferguson, quien había llegado a esa conclusión un siglo antes:

> La ignorancia es la madre de la industria y también de la superstición. La reflexión y la fantasía están sujetas al error; pero el hábito de mover la mano o el pie es independiente de ambos. En consecuencia, las manufacturas prosperan más allí donde la mente es menos consultada y donde la fábrica podría [...] ser considerada como un motor, cuyas piezas son los hombres.[51]

Esto debería servir para recordarnos que la mitología pública de la inteligencia artificial siempre ha operado del lado del capital junto con una agenda oculta para fomentar la estupidez humana, incluida la promulgación de ideologías racistas y sexistas.

La devaluación del capital por parte de la acumulación de conocimiento

¿Cuál es el valor económico del conocimiento y la ciencia? ¿Qué papel desempeñan en la acumulación de capital? Marx exploró estas cuestiones en una época floreciente gracias al ingenio mecánico, la inteligencia técnica y las grandes infraestructuras, como el ferrocarril y las redes telegráficas. En el pasaje sobre el intelecto general, Marx describió el conocimiento de tres maneras: primero, como una "fuerza directa de producción" (*unmittelbaren Produktivkraft*); segundo, bajo la forma de las "fuerzas sociales de producción" (*gesellschaftlichen*

[50] Ibid., 303.

[51] Adam Ferguson, citado por Marx en *Capital*, 483. Marx cita a Ferguson también para reconocer ya en 1767 que "el pensamiento mismo, en esta época de separaciones, podría convertirse en un oficio peculiar". Marx, *Capital*, 484.

Produktivkräfte), y tercero, como una práctica social (*gesellschaftlichen Praxis*), que no es conocimiento abstracto *per se*:

> La naturaleza no construye máquinas, ni locomotoras, ni ferrocarriles, ni *telégrafos eléctricos*, ni *mulas autónomas*, etc. Estos son productos de la industria humana; material natural transformado en órganos de la voluntad humana sobre la naturaleza, o de la participación humana en la naturaleza. Son órganos del cerebro humano, creados por la mano humana; el poder del conocimiento, objetivado. El desarrollo del capital fijo indica hasta qué punto el *conocimiento* social general se ha convertido en una *fuerza directa de producción*, y en qué medida, por lo tanto, las condiciones del proceso de la vida social misma han quedado bajo el control del *intelecto general* y se han transformado de acuerdo con él. En qué medida se han producido los poderes de la producción social, no solo en forma de conocimiento, sino también como órganos inmediatos de la práctica social, del proceso de la vida real.[52]

El intelecto general se convierte en un agente transformador de la sociedad de un modo que se hace eco claramente del optimismo de Thompson sobre la "distribución del conocimiento" como conducente a la "igualdad voluntaria en la distribución de la riqueza". "El fragmento sobre las máquinas" contiene una tensión no resuelta entre el *conocimiento objetivado en la maquinaria* (como "desarrollo del capital fijo") y el *conocimiento expresado por la producción social* (como "desarrollo del individuo social"). Marx considera la primacía del conocimiento en el proceso de producción y, entonces, la primacía de la praxis sobre el propio conocimiento. La misma tesis emerge de *El capital*, donde Marx registra el estrés del trabajo industrial sobre el sistema nervioso de los trabajadores. Marx compara el valor económico de la habilidad individual frente al de la ciencia. Una competencia realista entre ambos es improbable, ya que después de un largo proceso de "separación de las facultades intelectuales", las habilidades especiales del trabajador se desvanecen ante la magnitud de la ciencia, la energía natural y el trabajo social que anima a la maquinaria:

> La separación de las facultades intelectuales del proceso de producción respecto del trabajo manual, y la transformación de esas facultades en poderes ejercidos por el capital sobre el trabajo, es [...] finalmente completado por la gran industria erigida sobre la base de la maquinaria. La habilidad

[52] Marx, *Grundrisse*, 706. Los términos marcados entre asteriscos aparecen en inglés en el manuscrito original.

> especial de cada individuo que opera una máquina, que ahora ha sido despojado de todo significado, se desvanece como una cantidad infinitesimal frente a la ciencia, las inmensas fuerzas naturales y la masa del trabajo social encarnado en el sistema de maquinaria, que, junto con estas tres fuerzas, constituye el poder del "amo".[53]

En el "fragmento", no solo tenemos el reconocimiento del conocimiento como un poder extraño encarnado en la maquinaria (como se encuentra en Thompson), sino también el intento de evaluar la magnitud de su valorización (que está ausente en este último). Aquí, Marx usa un criterio para evaluar la acumulación de conocimiento que toma de la obra de Thomas Hodgskin, un socialista ricardiano presentado en el capítulo anterior, citando a menudo su libro *Popular Political Economy* (1827) y elogiando además su *Labour Defended against the Claims of Capital* [En defensa del trabajo contra las pretensiones del capital] (1825). Hodgskin oponía un énfasis positivo en el capital fijo como acumulación concreta de trabajo, conocimiento y ciencia del pasado a la "ficción" del capital circulante. En los *Grundrisse*, se percibe un eco de las ideas de Hodgskin en la afirmación que hace Marx acerca de que la maquinaria es la "forma más adecuada de capital fijo".

> La acumulación de conocimiento y de habilidad, de las fuerzas productivas generales del cerebro social, se absorbe así en el capital, por oposición al trabajo, y de ahí que aparezca como un atributo del capital, y más concretamente del capital fijo, en la medida en que entra en el proceso de producción como medio de producción propiamente dicho. Por lo tanto, la maquinaria aparece como la forma más adecuada de capital fijo, y el capital fijo [...] aparece como la forma más adecuada de capital como tal.[54]

Modernizando el lema baconiano "El conocimiento es poder", algunos autores de la era industrial, como Babbage, Thompson y Hodgskin, argumentaban que el conocimiento es, sin duda, una fuerza productiva y económica. Tanto para Hodgskin como para Thompson, hay que repetirlo, el trabajo es ante todo trabajo mental, es decir, conocimiento. El "trabajo mental" es

> el trabajo de observar y verificar por qué medios el mundo material nos dará más riqueza [...]. Si no hay trabajo mental, no puede haber destreza manual ni capacidad para inventar máquinas. Por lo tanto es esencial para la producción.[55]

[53] Marx, *Capital*, 549.
[54] Marx, *Grundrisse*, 694.

Es importante destacar que, para Hodgskin, no existen jerarquías intelectuales, ni división entre mano y mente, ni una aristocracia laboral que necesite de promoción: "tanto el trabajo mental como el corporal son practicados por casi todos los individuos".[56] De hecho, Marx cita a Hodgskin en *El capital* para subrayar que la habilidad es un recurso común que se comparte entre los trabajadores y pasa de generación en generación.[57] Aquí, el conocimiento es un poder que se comparte y produce colectivamente, y ese poder constituye (junto con la maquinaria y las infraestructuras) el núcleo del capital fijo que debe ser reapropiado por los trabajadores (frente a la "ficción" del capital circulante).[58]

Los pasajes más visionarios de los *Grundrisse* se refieren a la crisis del capitalismo debido a la crisis de la centralidad del trabajo y, por lo tanto, de la teoría laboral del valor; es decir, debido al hecho de que "el trabajo directo y su cantidad desaparecen como el principio determinante de la producción [...] en comparación con el trabajo científico general, la aplicación tecnológica de las ciencias naturales [...] y con la fuerza productiva general derivada de la combinación social [*Gliederung*]".[59] Además, Marx dice:

> El capital mismo es la contradicción en movimiento, [ya] que presiona para reducir el tiempo de trabajo al mínimo, mientras que postula el tiempo de trabajo, por otro lado, como única medida y fuente de riqueza [...]. Por un lado, entonces, invoca a todos los poderes de la ciencia y de la naturaleza, como a los de la combinación social y de las relaciones sociales, con el fin de hacer que la creación de riqueza sea independiente (relativamente) del tiempo de trabajo empleado en ella. Por el otro lado, quiere usar el tiempo de trabajo como vara de medición de las gigantescas fuerzas sociales así creadas, y confinarlas dentro de los límites necesarios para mantener el valor ya creado como valor. Las fuerzas de producción y las relaciones sociales —dos caras diferentes del desarrollo del individuo social— aparecen ante el capital como meros medios, y no son más que medios

[55] Hodgskin, *Popular Political Economy*, 45, 47.
[56] Ibid., 47.
[57] "El trabajo fácil es una habilidad que se transmite". Ibid., 48.
[58] "Hodgskin llamó al capital circulante una 'ficción'. El capital fijo era la habilidad acumulada del trabajo previo". Maxine Berg, *The Machinery Question and the Making of Political Economy*, Cambridge: Cambridge University Press, 1980, 274.
[59] Marx, Grundrisse, 700.

para que produzca sobre su limitada base. De hecho, sin embargo, son las condiciones materiales para hacer saltar por los aires esos cimientos.[60]

Lo que parece una contradicción en el sistema de Marx (la obliteración de la centralidad política del trabajo) es, en realidad, la consecuencia de esa centralidad. En todas partes del mundo, los trabajadores han trabajado demasiado. Han estado produciendo tanto y durante tanto tiempo, que su trabajo previo acumulado (en forma de maquinaria, infraestructuras y conocimiento colectivo) afecta la tasa de beneficio y ralentiza la economía. Esa es la tesis de la productividad del trabajo enfrentada con la improductividad del capital, que se encuentra en *En defensa del trabajo contra las pretensiones del capital*, de Hodgskin. Marx, por su parte, trata de demostrar que la acumulación de capital fijo (como maquinaria, infraestructuras, conocimiento colectivo y ciencia) podría tener efectos colaterales profundos en el lado del capital circulante (además de la posibilidad de una crisis de sobreproducción). En los *Grundrisse* explora, por consiguiente, la hipótesis de que un crecimiento del conocimiento colectivo y técnico podría debilitar el predominio del capital, como imaginaron Thompson y Hodgskin. Finalmente, en *El capital*, el entusiasmo utópico de los *Grundrisse* es reabsorbido por un cálculo realista de la plusvalía relativa, que se adopta como criterio de medición de la maquinaria y también como criterio de medición implícito del valor del conocimiento.

El surgimiento del trabajador colectivo

En *El capital*, Marx responde a la Cuestión de la Maquinaria llamando a escena a un actor social ampliado, el trabajador colectivo (*Gesamtarbeiter*), en el centro del escenario industrial, mientras que, para la burguesía, era un ingeniero con un motor a vapor. La figura del trabajador colectivo reemplaza al culto a la personalidad del inventor (el trabajo mental individual), pero también la idea del intelecto general (el trabajo mental colectivo). Basándose en la teoría laboral de la máquina elaborada por Babbage, que explica a la máquina como la encarnación de la división del trabajo, Marx afirma al trabajador colectivo como el verdadero *inventor político* de la tecnología. La hipótesis ambigua de la *teoría del valor basada en el conocimiento* de los *Grundrisse* se asienta así finalmente sobre una base empírica: la inteligencia se materializa lógicamente en las ramificaciones de la división del trabajo. El trabajador colectivo es una personificación del intelecto general y, precisamente, de su mecanización.

[60] Ibid., 706.

Marx sigue de cerca la teoría laboral de la máquina de Babbage tanto en los *Grundrisse* como en *El capital*, pero solo en este último hace uso del principio de modulación del plustrabajo de Babbage, que lo ayuda a esbozar el concepto de plusvalía relativa y a medir la productividad del trabajo y de la maquinaria. El principio de Babbage, citado por Marx, es el siguiente:

> El dueño de la fábrica, al dividir el trabajo para que sea ejecutado en distintos procesos, cada uno de los cuales requiere distintos grados de habilidad o de fuerza, puede adquirir exactamente esa cantidad precisa de ambos según lo necesario para cada uno; mientras que, si todo el trabajo fuera ejecutado por un solo trabajador, esa persona debería poseer la habilidad suficiente para realizar las más difíciles, y la fuerza suficiente para ejecutar las más arduas, de las operaciones en la cuales se divide el trabajo.[61]

Marx invierte la mistificación del "dueño de la fábrica" devolviendo al centro del principio de Babbage al trabajador colectivo que, no hace falta decirlo, se convierte ahora en el actor principal de la división del trabajo. El trabajador colectivo adquiere rasgos de un superorganismo:

> El trabajador colectivo, formado a partir de la combinación de varios trabajadores individuales especializados, es el elemento de maquinaria específicamente característico del período de fabricación [...]. En una operación debe ejercer más fuerza, en otra, debe poner más habilidad, en otra, más atención; y el mismo individuo no posee todas esas cualidades en igual medida [...]. Una vez separadas, independizadas y aisladas las distintas operaciones, se divide, se clasifica y agrupa a los trabajadores según sus cualidades predominantes [...]. El trabajador colectivo posee ahora todas las cualidades necesarias para la producción en un mismo grado de excelencia y las invierte de la manera más económica empleando exclusivamente todos sus órganos, individualizados en trabajadores o grupos de trabajadores determinados, en el desempeño de sus funciones especiales.[62]

En el lenguaje de Marx, el trabajador colectivo se convierte en un "elemento de maquinaria", un "mecanismo social", un "organismo que trabaja

[61] Marx, *Capital*, 469. La edición de Penguin dice erróneamente "Ch. 19, pp. 175" del libro de Babbage: es el capítulo 18, página 137.

[62] Marx, *Capital*, 468-469.

colectivamente".[63] La reencarnación del intelecto general como trabajador colectivo está acompañada por vívidas metáforas maquínicas. Entre líneas de *El capital* es posible leer la prehistoria del *cyborg*.

> El mecanismo social de producción, que se compone de numerosos trabajadores especializados individuales, pertenece al capitalista [...]. El trabajo especializado no solo está distribuido entre los diferentes individuos, sino que el propio individuo se divide y se transforma en el motor automático de una operación parcial.[64]

"El fragmento sobre las máquinas" no solo hacía hincapié en el creciente papel económico del conocimiento y la ciencia, sino también en el papel de la cooperación social, es decir, el creciente papel de la *maquinaria general* de las relaciones sociales más allá del sistema fabril. En un movimiento que se asemeja al de la construcción del *Gesamtarbeiter* dentro de la fábrica, en los *Grundrisse* Marx erige al "individuo social [...] como la gran piedra angular de la producción y de la riqueza" en la sociedad del futuro:

> [El trabajador] da un paso al costado en el proceso de producción en lugar de ser el actor principal. En esta transformación, no es ni el trabajo humano directo que él mismo realiza, ni el tiempo durante el cual trabaja, sino más bien la apropiación de su poder productivo general, su comprensión de la naturaleza y su dominio sobre ella en virtud de su presencia como cuerpo social; es, en una palabra, el desarrollo del individuo social lo que aparece como la gran piedra angular de la producción y de la riqueza.[65]

Da la impresión de que, con la transmutación del intelecto general en el trabajador colectivo, Marx abandona también la teoría de la implosión del capitalismo debido a la sobreproducción de conocimiento como capital fijo. El capitalismo ya no se derrumbará por la acumulación de conocimiento, porque el propio conocimiento ayuda a los nuevos aparatos a mejorar la extracción de plusvalía. El académico marxista Michael Heinrich señaló que en *El capital*, "en el tratamiento de la producción de plusvalía relativa, podemos encontrar una crítica implícita del 'Fragmento sobre las máquinas'".[66] Allí, Marx parece

[63] Ver Henning Schmidgen, "1818: Der Frankenstein-Komplex", epílogo al libro de Bruno Latour, *Aramis: oder Die Liebe zur Technik*, trad. Gustav Roßler, Heidelberg: Mohr Siebeck, 2018, 303-319.

[64] Marx, Capital, 481.

[65] Marx, *Grundrisse*, 705.

[66] Heinrich, "Fragment on Machines", 197.

emplear el principio de la modulación del plustrabajo de Babbage para elaborar una teoría de la plusvalía relativa que reconoce la capacidad del capitalismo para mantener en equilibrio la explotación. Según Marx, la plusvalía puede aumentarse no solo reduciendo salarios y costos materiales, sino también aumentando la productividad del trabajo en general; es decir, rediseñando la división del trabajo y las máquinas. Si la división del trabajo es, de acuerdo con el principio de Babbage, un aparato para modular regímenes de cualificación y, por lo tanto, diferentes regímenes de salario según la cualificación, la división del trabajo se convierte en una modulación de la plusvalía relativa. Al ser una encarnación de la división del trabajo, la máquina se convierte así en el aparato para disciplinar el trabajo y regular la extracción de plusvalía relativa.[67] Como en la visión de Babbage, la máquina se transforma en una máquina de calcular, en este caso, un instrumento para medir la plusvalía.

La máquina es una relación social, no un objeto

En el siglo xx, Harry Braverman fue quizás el primer marxista en redescubrir los experimentos pioneros de Babbage en computación y su influencia sobre la teoría de Marx de la división del trabajo.[68] Si bien Marx leyó a Thompson, Hodgskin y Babbage, nunca usó el concepto de trabajo mental, quizás para evitar apoyar una aristocracia obrera de artesanos cualificados como sujeto político separado de la clase trabajadora. Para Marx, el trabajo siempre es colectivo: no hay ningún trabajo individual que sea más prestigioso que otros y, por lo tanto, el trabajo mental siempre es general; la mente, por definición, es social. En lugar de una *teoría del trabajo basada en el conocimiento* que le da primacía a la actividad consciente, como la de Thompson y Hodgskin, Marx mantiene una *teoría laboral del conocimiento* que reconoce la importancia cognitiva de formas de trabajo que son sociales, distribuidas, espontáneas e inconscientes. La inteligencia surge del ensamblaje abstracto de los gestos simples y las microdecisiones de los trabajadores, incluso y en especial los que son inconscientes.[69]

[67] "Una gran ventaja que podemos obtener de la maquinaria es la del control que ofrece contra la falta de atención, la ociosidad o la deshonestidad de los agentes humanos". Babbage, *On the Economy of Machinery*, 54.

[68] Harry Braverman, *Labor and Monopoly Capital: The Degradation of Work in the Twentieth Century*, New York: Monthly Review Press, 1974.

[69] Sobre la idea de microdecisión, ver Romano Alquati, "Composizione organica del capitale e forza-lavoro alla Olivetti", parte 2, *Quaderni Rossi* 3 (1963). Traducido parcialmente en Matteo Pasquinelli, "Italian Operaismo and the Information Machine", *Theory, Culture, and Society* 32, N° 3 (2015): 55.

En los estudios sobre el intelecto general y la historia de la tecnología, esos son los mundos intermedios de la inteligencia colectiva y la cooperación inconsciente, pero también los del "conocimiento mecanizado" y la "mecánica consciente".[70] Babbage termina siendo quien le ofrece a Marx un paradigma operativo para superar el *Geist* de Hegel e imbricar el conocimiento, la ciencia y el intelecto general en la producción.

Como ya señalamos, la distinción entre trabajo manual y mental desaparece en el marxismo porque, desde el punto de vista abstracto del capital, todo trabajo asalariado, sin distinción, produce plusvalía; todo trabajo es trabajo abstracto. Sin embargo, el ojo abstracto del capital que regula la teoría laboral del valor emplea un instrumento específico para medir el trabajo: el reloj. De esta manera, lo que parece una ley universal tiene que tratar con el criterio de medición de una tecnología muy mundana; al fin y al cabo, los relojes no son universales.[71] Las máquinas pueden imponer otros criterios de medición del trabajo que no sean el tiempo, como sucedió recientemente con el análisis de datos sociales. Del mismo modo que los nuevos instrumentos definen nuevos ámbitos de la ciencia, también definen nuevos ámbitos del trabajo después de haber sido inventados por el propio trabajo.[72] Toda nueva máquina es una nueva configuración del espacio, del tiempo y de las relaciones sociales, y proyecta nuevos criterios de medición de esos diagramas.[73] En la era victoriana, existía la metrología del trabajo mental, pero en una etapa embrionaria. En el siglo XX, empieza a surgir una rudimentaria econometría del conocimiento con la primera teoría de la información. La tesis de este capítulo plantea que la teoría laboral del valor planteada por Marx no resolvió los criterios de medición en los ámbitos del conocimiento y la inteligencia, que debían explorarse en la articulación del diseño de la máquina y en el principio de Babbage.

Siguiendo a Braverman y Schaffer, se podría añadir que Babbage no solo aportó una teoría laboral de la máquina, sino una *teoría laboral de la inteligencia de las máquinas*.[74] Efectivamente, las máquinas calculadoras de Babbage (las "máquinas inteligentes" de su época) eran una implementación del ojo analítico del amo, el dueño de la fábrica. Parientes cercanas al Panóptico de Jeremy

[70] Lo que en el siglo siguiente se convertirá en el núcleo del operacionalismo: la gestión, la logística y la informática. Ver Sandro Mezzadra y Brett Neilson, *The Politics of Operations: Excavating Contemporary Capitalism*, Durham, NC: Duke University Press, 2019.

[71] Ver Antonio Negri, *Time for Revolution*, London: Continuum, 2003, 27.

[72] Ver Peter Damerow y Wolfgang Lefèvre, "Tools of Science", en *Abstraction and Representation: Essays on the Cultural Evolution of Thinking*, ed. Peter Damerow, Dordrecht: Kluver, 1996, 395-404.

[73] La idea de que cada máquina establece su propia unidad de medida del trabajo constituye una *teoría maquínica del trabajo*, sobre la que no podemos explayarnos aquí.

[74] Ver Schaffer, "Babbage's Intelligence".

Bentham, eran simultáneamente instrumentos de vigilancia y medición del trabajo. Es esta idea la que debemos considerar y aplicar a la era de la inteligencia artificial y su crítica política, aunque invirtiendo su polarización, para declarar que las infraestructuras informáticas son una concreción del trabajo en común.[75]

[75] Ver Antonio Negri, "The Re-Appropriation of Fixed Capital: A Metaphor?", en *Digital Objects, Digital Subjects*, ed. David Chandler y Christian Fuchs, London: University of Westminster Press, 2019, 205-214; Frederic Jameson, *An American Utopia: Dual Power and the Universal Army*, London: Verso, 2016.

5. LA ABSTRACCIÓN DEL TRABAJO

> La cibernética recompone de manera global y orgánica las funciones del trabajador colectivo pulverizadas en microdecisiones individuales: el "bit" vincula al trabajador atomizado con las "cifras" del "Plan".
>
> Romano Alquati[1]

La bifurcación entre energía e información

Con una agudeza inusitada, el filósofo francés Gilbert Simondon cuestionó alguna vez la concepción común de la era industrial. Escribió: "La modalidad industrial aparece cuando la fuente de información y la fuente de energía se separan, es decir, cuando el Ser Humano es meramente la fuente de información y la Naturaleza debe suministrar la energía. La máquina se diferencia de la herramienta en que es un relé: tiene dos puntos de entrada diferentes, el de la energía y el de la información".[2] Después de todo, la aparición de un concepto moderno de información suele asociarse a los medios de comunicación de masas, como la prensa, el telégrafo, la radio y la televisión, y seguramente no a una máquina industrial. En cambio, Simondon propuso ver la máquina industrial ya como un *relé infomecánico*, porque, por primera vez, separaba el trabajo en energía (que era proporcionada por recursos naturales, como el agua y el carbón) y en información (los movimientos conscientes y las instrucciones de los trabajadores que supervisaban y controlaban la máquina). Según la idea

[1] "La cibernetica ricompone globalmente e organicamente le funzioni dell'operaio complessivo polverizzate nelle microdecisioni individuali: il 'bit' salda l'atomo operaio alle 'cifre' del 'Piano'". Romano Alquati, "Composizione organica del capitale e forzalavoro alla Olivetti", parte 2, *Quaderni Rossi* 3, 1963: 134.

[2] Gilbert Simondon, "Technical Mentality", *Parrhesia* 7, 2009: 20, publicado originalmente como "Mentalité technique", *Revue Philosophique de la France et de l'étranger* 131, N° 3, 2006: 343-57.

de Simondon, la herramienta tradicional sería un diseño en el cual energía e información siguen unidos: con el martillo, por ejemplo, el artesano preindustrial seguía dando forma y movimiento en el mismo gesto. Esa unidad premoderna entre mano y mente iba a ser sistemáticamente alterada por la división industrial del trabajo, como vimos en el capítulo 3, en el que se repasa la Cuestión de la Maquinaria. A pesar de que a menudo se repite que la automatización reemplaza al trabajo, Simondon explicó cómo la automatización en realidad desplaza al trabajo y lo bifurca en linajes opuestos y jerarquías de cualificación manual y mental.

Al escribir a finales de la década de 1950, en la Francia del auge económico, Simondon interpretaba la era industrial bajo la influencia de nuevas tecnologías como la cibernética, que también daban impulso a las expectativas modernistas de posguerra.[3] En ese entonces, la información era un concepto emergente, que también afectaba la definición de trabajo. Más recientemente, el académico sueco Andreas Malm enmarcó la era industrial desde un ángulo diferente, dadas las preocupaciones actuales sobre el cambio climático y la degradación del medio ambiente: la economía de la energía.

Comprensiblemente, Malm argumentó que el surgimiento del modo industrial de producción fue impulsado por una forma de energía estable y versátil, que se descubrió en el carbón después del uso de la fuerza hidráulica.[4] Pero según su visión, el carbón contribuyó a la aceleración del capitalismo industrial no solo por su potencial energético, sino debido a que sus propiedades físicas, como la liviandad, la homogeneidad y la mensurabilidad, se ajustaban perfectamente a las nuevas dimensiones abstractas del capital. Los motores a vapor reemplazaron a los molinos de agua no porque el carbón fuera más barato y más abundante que el agua, sino porque proporcionaba un flujo de energía más estable que las lluvias y permitía a las fábricas mudarse más cerca de las zonas urbanas, donde vivía la clase obrera. De esta manera, Malm registró la lógica energética para la lenta aparición del capitalismo fósil de la era manufacturera. Tuvieron que pasar unos cuarenta años para que el motor a vapor sustituyera al molino de agua: si el carbón llegó a utilizarse en todo el espectro de la producción fue porque era la fuente de *energía abstracta* más adecuada, donde "abstracta" significa fácilmente computable en términos de costo, transporte, existencias, rendimiento y organización social.

[3] Ver Henning Schmidgen, "Thinking Technological and Biological Beings: Gilbert Simondon's Philosophy of Machines", *Revista do Departamento de Psicologia* UFF 17, 2005: 11-18.

[4] Andreas Malm, "The Origins of Fossil Capital: From Water to Steam in the British Cotton Industry", *Historical Materialism* 21, N° 1, 2013: 15-68.

Además, fue también gracias al motor a vapor que el carbón se convirtió en un componente clave del capitalismo industrial, pero precisamente porque esta innovación tecnológica podía convertir su potencial energético en un movimiento estable y continuo, como señaló Malm:

> Para que el carbón se universalizara como combustible para todo tipo de producción de mercancías, había que convertirlo en una fuente de energía mecánica y, más concretamente, de movimiento rotatorio. Solo combinando la combustión del carbón con la rotación de una rueda se podía conseguir que los combustibles fósiles encendieran el proceso general de crecimiento: el aumento de la producción —y del transporte— de todo tipo de mercancías. Por eso se considera que el motor a vapor de James Watt fue el avance decisivo hacia un mundo más cálido.[5]

Sin embargo, la aparición del motor a vapor y la adopción del carbón no fueron por sí solos motores autónomos del desarrollo industrial: respondían a una dinámica económica más profunda, como un nuevo régimen de explotación laboral. El capitalismo generó la necesidad de un sistema más simplificado —*más abstracto*— de organización de la fuerza de trabajo. Eso implicaba utilizar el reloj para medir con precisión el tiempo de trabajo y aplicar una división precisa del espacio laboral, todo eso era posible bajo la supervisión del dueño de la fábrica. La versatilidad energética del carbón y la exactitud mecánica de los motores a vapor ayudaron a consolidar las nuevas abstracciones espacio-temporales del capitalismo industrial.

Ampliando el análisis de Malm para incluir las ideas de Simondon, se puede añadir que las propiedades abstractas de la información surgieron junto con estas abstracciones espacio-temporales y las nuevas características de la energía fósil, es decir, sus cadenas homogéneas de carbono, que hacían que el carbón fuera más fácil de cuantificar y computar que las fuentes tradicionales, como el agua y la energía animal. Entonces, lo que hay que reconocer en los engranajes de la máquina industrial es la bifurcación y la combinación simultánea de la *energía abstracta* (o movimiento estandarizado) y de la *forma abstracta* (o información), entendidas ambas como operaciones y medios de producción cuantificables.[6]

[5] Ibid., 18.

[6] El movimiento abstracto también puede definirse como trabajo abstracto, como Hegel hizo originalmente en las conferencias de Jena: ver a continuación. Ver también la crítica de Sohn-Rethel en el capítulo 8.

Si el trabajo humano se separó en energía abstracta y formas abstractas, fue también gracias a dos nuevas tecnologías de control: dispositivos de retroalimentación como el regulador de vapor de James Watt (1788) y controladores como la tarjeta perforada del telar Jacquard (1801).[7] El regulador de vapor era un dispositivo para mantener constante la potencia de un motor, regulando en tiempo real la entrada de combustible. La tarjeta perforada era un dispositivo de datos para almacenar instrucciones de patrones textiles. Para ser más precisos, el regulador de Watt convertía los impulsos del motor en *movimiento abstracto*, es decir, movimiento rotatorio constante y las tarjetas perforadas de Jacquard transformaban las instrucciones manuales en *información*, o sea, conocimiento computable. En retrospectiva, es posible considerar a esos dos dispositivos como los primeros dispositivos cibernéticos. El regulador de Watt fue el primer ejemplo de un sistema exacto de retroalimentación de la información, mientras que la tarjeta perforada del telar Jacquard sería adoptada por IBM como un formato de almacenamiento estándar, que permaneció casi sin cambios a lo largo del siglo XX.

Una nota sobre la controversia del trabajo abstracto

Fue Hegel quien vio el trabajo como una abstracción que da forma a las máquinas y la subjetividad. Definió por primera vez el "trabajo abstracto" durante sus conferencias de Jena de 1805-6, interpretando muy probablemente los pasajes de Adam Smith sobre la división del trabajo y la invención de las máquinas:

> El propio trabajo del hombre se convierte en algo totalmente mecánico, perteneciente a un determinismo unilateral. Pero cuanto más abstracto se vuelve [su trabajo], más él mismo es mera actividad abstracta. Y, en consecuencia, está en condiciones de retirarse del trabajo y sustituir su propia actividad por la de la naturaleza externa. Necesita mero movimiento, y eso lo encuentra en la naturaleza externa. En otras palabras, el movimiento puro es precisamente la relación de las formas abstractas del espacio y el tiempo; la actividad externa abstracta, la *máquina*.[8]

[7] James Beniger, *The Control Revolution: Technological and Economic Origins of the Information Society*, Cambridge, MA: Harvard University Press, 1986, 17.

[8] Georg Wilhelm Friedrich Hegel, *Hegel and the Human Spirit: A Translation of the Jena Lectures on the Philosophy of Spirit (1805-6)*, ed. y trad. Leo Rauch, Detroit: Wayne State University Press, 1983, 121.

Tiempo después, en *Elementos de la filosofía del derecho* (1820), Hegel siguió definiendo el trabajo abstracto de manera similar: "la abstracción de la producción hace que el trabajo sea cada vez más *mecánico*, de modo que el ser humano puede finalmente hacerse a un lado y dejar que una *máquina* ocupe su lugar". Posteriormente, Marx se apropió de la interpretación de Hegel y declaró que la abstracción social preocupante no era solo la división del trabajo, sino también el trabajo asalariado, es decir, el dominio del capital sobre el trabajo. El capitalismo convirtió efectivamente el trabajo humano en una abstracción, pero esa abstracción era en forma de mercancía. Bajo el capitalismo industrial, el trabajo se cuantificaba en unidades de tiempo abstractas, se convirtió en un equivalente general en toda la sociedad y se comercializó como una mercancía como cualquier otra, de hecho como la sustancia misma de todas las mercancías.[9] Marx veía la *abstracción del trabajo* principalmente como una función del capital, como una relación salarial.

Sin embargo, durante la era industrial, el proceso de abstracción afectó el espacio, el tiempo, la energía, el trabajo y el conocimiento de distintas maneras, y ese poder de abstracción no puede considerarse como una expresión exclusiva del tecnocapitalismo. En realidad, todo el mundo reivindica la abstracción. Pero, al final, ¿a quién pertenece realmente el poder de abstracción? ¿Quién o qué posee la voluntad política que da forma a las abstracciones sociales de la historia?

El trabajo de la información

El historiador James Beniger argumenta que, entre fines del siglo XIX y mediados del XX, surgieron las tecnologías de la información debido al auge económico de los países occidentales y la necesidad de controlar la producción y la distribución industrial. En otras palabras, fue la aceleración económica la que impulsó la transformación del medio analógico en información numérica. La génesis de los paradigmas de la cibernética y la teoría de la información respondió a una "crisis de control" del capitalismo occidental, que tenía que gestionar un excedente de productos básicos y nuevas infraestructuras de distribución de gran envergadura. En lugar de *revolución de la información*, como se la suele llamar, Beniger denominó a esta evolución con el oxímoron *revolución del control* (que también es una descripción adecuada del impulso histórico de la

[9] Marx, *Capital*, 137.

cibernética hacia el equilibrio político).[10] Para controlar una economía en crecimiento, era necesario introducir una definición más abstracta de información (que es conocimiento medible, computable y transmisible).

El proceso histórico puede enmarcarse, una vez más, no solo desde el punto de vista de la circulación de mercancías, sino como la organización del trabajo. Según Beniger, los análisis marxistas de la era posindustrial han hecho hincapié en el papel de los conflictos laborales y las luchas sociales, más que en el excedente económico, a la hora de impulsar el desarrollo tecnológico. También han cuestionado la neutralidad política del concepto técnico de información, como hizo, por ejemplo, el sociólogo italiano Romano Alquati en su investigación sobre las condiciones laborales en la fábrica de computadoras Olivetti, a principios de la década de 1960.[11]

Olivetti fue una empresa pionera, famosa por fabricar máquinas de escribir, calculadoras electrónicas y unidades centrales a partir de la década de 1950. Por ejemplo, en 1959, Olivetti lanzó la Elea 9003, la primera computadora comercial a transistores, cuya futurista interfaz gráfica de usuario fue diseñada por Ettore Sottsass. Fue en la fábrica de Olivetti en Ivrea donde Alquati aplicó por primera vez el método de las encuestas obreras (o *conricerca*) a la organización del trabajo en la cibernética. Las encuestas obreras fueron una especie de investigación-acción participativa, aunque más militante, y se basaban en la participación activa de los trabajadores, y también se hizo uso extensivo de entrevistas individuales y grupales.

Alquati descubrió, entonces, que el aparato cibernético de la fábrica Olivetti era ante todo una extensión de su burocracia interna, que vigilaba a los trabajadores en la línea de montaje y el proceso de producción en general por medio de la "información de control". Fue a través de los circuitos de la cibernética que la burocracia pudo finalmente descender al cuerpo de los trabajadores y vigilar de cerca sus actividades. A pesar de que Alquati consideraba que la cibernética era una extensión de la burocracia, invirtió la perspectiva descendente que está implícita en la idea de información de control. Además de "información de control", acuñó el término "valorización de la información" para describir el flujo de información generado por los trabajadores y que, en sentido ascendente, alimenta los circuitos de la fábrica y da forma a los productos finales. En este sentido, los trabajadores producen la información de manera

[10] Beniger, *Control Revolution*, 6.

[11] Alquati, "Composizione organica del capitale". Ver, en particular, Matteo Pasquinelli, "Italian Operaismo and the Information Machine", *Theory, Culture and Society* 32, N° 3, 2015: 49-68.

continua, que es absorbida por la maquinaria y, finalmente, condensada en mercancías:

> La información es esencial para la fuerza de trabajo, es lo que el trabajador —por medio del capital constante— transmite a los medios de producción a partir de evaluaciones, mediciones y elaboraciones para operar sobre el objeto de trabajo todas aquellas modificaciones de su forma que le dan el valor de uso requerido.[12]

Con Alquati, la información numérica entra, probablemente por primera vez, en la definición del trabajo. Alquati observó que la parte más importante del trabajo está constituida por la serie de actos creativos, mediciones y decisiones que los trabajadores tienen que realizar constantemente delante de la máquina y en la línea de montaje. Denominó información precisamente a todas las "micro-decisiones" innovadoras que los trabajadores realizan a lo largo del proceso de producción, que dan forma al producto, pero también regulan el propio aparato maquínico:

> El *trabajo productivo* está definido por la calidad de la *información* elaborada y transmitida por el trabajador al *medio de producción* a través de la mediación del *capital constante*, de una manera *indirecta*, pero totalmente *socializada*.[13]

Según Alquati, es específicamente la dimensión numérica de la cibernética la que puede codificar el conocimiento de los trabajadores en bits digitales y, en consecuencia, transformar los bits digitales en números para la planificación económica (como se afirma en el epígrafe inicial de este capítulo).[14]

Alquati vio una estructura ampliada que fusionaba la burocracia, la gestión, la maquinaria cibernética y la división del trabajo: era un nuevo sistema que sustituía al antiguo dueño de la fábrica. La cibernética reveló la naturaleza maquínica de la burocracia y, a la inversa, el papel burocrático de las máquinas, es decir, cómo ambas funcionan como aparatos de retroalimentación para

[12] "L'informazione è l'essenziale della forza-lavoro, è ciò che l'operaio attraverso il capitale costante trasmette ai mezzi di produzione sulla base di valutazioni, misurazioni, elaborazioni per operare nell'oggetto di lavoro tutti quei mutamenti della sua forma che gli danno il valore d'uso richiesto". Alquati, "Composizione organica del capitale", 121.

[13] "Il *lavoro produttivo* si definisce nella qualità delle informazioni elaborate e trasmesse dall'operaio ai *mezzi di produzione*, con la mediazione del *capitale costante* in modo tendenzialmente indiretto, ma completamente *socializzato*". Alquati, "Composizione organica del capitale", 121.

[14] Alquati, "Composizione organica del capitale", 134.

controlar y captar el conocimiento técnico de los trabajadores. Los resultados de la investigación de Alquati pueden resumirse de la siguiente manera: (1) el trabajo es la fuente de información del aparato cibernético industrial, de hecho, la parte más valiosa del trabajo es la información; (2) la información hace funcionar el aparato cibernético, mejora gradualmente su diseño y añade valor a los productos finales; (3) la dimensión numérica de la cibernética nos permite traducir el trabajo en conocimiento, el conocimiento en información, la información en números y, de esta manera, los números en planificación económica; (4) el aparato cibernético de la fábrica crece y mejora gracias a la contribución de la inteligencia socializada de los trabajadores. Por primera vez, de forma clara, la fábrica cibernética o automatizada hizo visible la transformación del trabajo en conocimiento medible, es decir, información.

A principios de la década de 1960, Alquati y el *operaísmo* italiano empezaron a registrar la transformación del fordismo y su división del trabajo cada vez más "abstracta" en toda la sociedad. Esto fue claramente prefigurado también por la imagen de la *fábrica social* del filósofo político Mario Tronti. En 1962, Tronti escribió que "en el nivel más alto del desarrollo capitalista [...] toda la sociedad se convierte en una articulación de la producción, toda la sociedad vive en función de la fábrica, y la fábrica extiende su dominio exclusivo sobre toda la sociedad".[15] Las tecnologías de la información fueron la infraestructura material que inervó el régimen del capitalismo industrial en la sociedad. A pesar de que el *operaísmo* italiano siempre tuvo un interés secundario en la ciencia y la tecnología, Alquati hizo una contribución clave al respecto. Sostenía que cualquier innovación tecnológica, incluida la cibernética, siempre encarna las relaciones de poder y el antagonismo de clase de un momento histórico determinado, y que, por eso, debería ser estudiada:

> El capital siempre es trabajo social acumulado, la máquina siempre es trabajo social incorporado. Obviamente. Toda "nueva máquina", toda innovación expresa el nivel general y la calidad de las relaciones de poder entre las clases en ese momento.[16]

En definitiva, no es difícil considerar el surgimiento de las tecnologías de la información como parte de la larga evolución de las abstracciones espaciotemporales que han venido disciplinando la fuerza de trabajo en el siglo

[15] Mario Tronti, *Workers and Capital*, London: Verso, 2019, 26.

[16] "Il capitale è sempre lavoro sociale accumulato, la macchina è sempre lavoro sociale incorporato. Ovvio. Ogni 'nuova macchina', ogni innovazione esprime il livello generale e la qualità dei rapporti di forza fra le classi in quel momento". Alquati, "Composizione organica del capitale", 89.

pasado. La información llegó para medir la inteligencia, el conocimiento y las habilidades necesarios para dominar el proceso de producción y las relaciones sociales en general.[17] Casualmente, ese significado no está muy alejado del origen del término "información" que se introdujo para reemplazar "inteligencia" en los albores de la teoría de la información. En 1928, el ingeniero estadounidense Ralph Hartley, de Bell Telephone Labs., propuso revisar el acto de "inteligencia" o "interpretación de una señal", que, en esa época, eran expresiones de uso corriente en la telegrafía, con un concepto desprovisto de toda referencia a las facultades humanas y, esencialmente, mensurable.[18] Este papel originario de la *inteligencia humana* en las tecnologías de la comunicación puede asumirse como una prueba más del interés de la teoría de la información por la automatización y la descualificación del trabajo mental, pero también como una confirmación de una trayectoria que se ha desplegado significativamente, después de un largo ciclo tecnológico, en el proyecto de la *inteligencia artificial*. En la actualidad, la "inteligencia" que codifican y miden los algoritmos de IA se extiende a un campo social cada vez más amplio, como ha intentado mostrar este libro. Este tipo de inteligencia pertenece tanto al trabajo manual como al mental, al conocimiento explícito como al tácito, pero sobre todo a la capacidad de cooperación y autoorganización, que es, por excelencia, un oficio político. Más allá del horizonte de la ingeniería electromecánica, lo que la información viene a medir y mediar es, en última instancia, el antagonismo entre trabajadores y capital, las "señales" que se intercambian entre estos dos ruidosos campos del orden social.

[17] Sobre la energía y la información como criterios de medición del trabajo, ver Matteo Pasquinelli, "Labour, Energy, and Information as Historical Configurations: Notes for a Political Metrology of the Anthropocene", *Journal of Interdisciplinary History of Ideas* 11, N° 22, 2023.

[18] Ralph V. Hartley, "Transmission of Information", *Bell System Technical Journal* 7, 1928. Ver también: Bernard D. Geoghegan, "Information", in *Digital Keywords: A Vocabulary of Information Society and Culture*, ed. Benjamin Peters, Princeton: Princeton University Press, 2016, 173-183.

SEGUNDA PARTE

La era de la información

6. LA AUTOORGANIZACIÓN DE LA MENTE CIBERNÉTICA

Se ha insistido con razón en que una historia de los modelos cerebrales es, en realidad, una historia de las tecnologías literarias y materiales que resultan familiares a los científicos del cerebro y que estos utilizan como metáforas. Su zoológico de metáforas exhibe relojes mentales, pianos lógicos, barrel-organisms [organismos de organillo], telégrafos neuronales y redes informáticas cerebrales. ¿Cómo entran las tecnologías específicas en este zoológico? Las afirmaciones de que ciertos sistemas pueden imitar, o incluso exhibir, inteligencia se sustentan en jerarquías sociales de cabeza y mano. Las mentes se conocen porque se conocen estas convenciones sociales.

Simon Schaffer, "OK Computer"[1]

[L]a maravilla de nuestro tiempo, la telegrafía eléctrica, estaba presente en la máquina animal. Pero la similitud entre los dos aparatos, el sistema nervioso y el telégrafo eléctrico, tiene un fundamento mucho más profundo. Es más que una similitud; es un parentesco entre ambos, una coincidencia no solo de efectos, sino quizá también de causas.

Emil Du Bois-Reymond, "On Animal Motion"
[Sobre el movimiento animal]

Los sistemas nerviosos [...] se han exteriorizado, como parte de la inversión del mundo interior y el exterior. Las carreteras, los edificios de oficinas, los rostros y las señales de tránsito se perciben como si fueran elementos de un sistema nervioso central que funciona mal.

J. G. Ballard, *La exhibición de atrocidades*

[1] Simon Schaffer, "OK Computer", en *Ansichten der Wissenschaftsgeschichte*, ed. Michael Hagner, Frankfurt: Fischer, 2001, 393-429.

Una historia social del sistema nervioso

En 2012, el algoritmo AlexNet —una gran red neuronal artificial— ganó la competencia ImageNet, que es el referente internacional para los programas de reconocimiento de imágenes. Desde entonces, las redes neuronales artificiales "profundas", también conocidas como "aprendizaje profundo", han liderado la revolución del aprendizaje automático y se las considera la técnica más eficaz de IA. Su éxito reavivó también las expectativas de que la "solución" a la IA pueda encontrarse en la lógica secreta de las estructuras del cerebro, una idea que se remonta a los primeros tiempos de las computadoras digitales. El neurofisiólogo Warren McCulloch y el matemático Walter Pitts fueron los primeros en proponer la imitación de las neuronas biológicas en un dispositivo.[2] En su artículo de 1943 "A Logical Calculus of the Ideas Immanent in Nervous Activity" [Un cálculo lógico de las ideas inmanentes en la actividad nerviosa], presentaron redes neuronales artificiales como imitación de la fisiología del cerebro, pero su idea también ocultaba una genealogía "social" externa que este capítulo intenta redescubrir e investigar.[3] Más que como un artefacto biomórfico (es decir, un artefacto que imita formas de vida), este capítulo propone presentar las redes neuronales artificiales desde una perspectiva diferente e inusual, es decir, como una técnica de *autoorganización de la información*. Esta hipótesis alinea su invención con la teoría laboral de la automatización expuesta en la primera parte de este libro. Del mismo modo que el diseño de las máquinas industriales surgió de la imitación de la organización del trabajo, las redes neuronales artificiales (y los algoritmos de aprendizaje automático en general) pueden considerarse máquinas que autoorganizan sus parámetros —su diseño interno—, imitando la organización del mundo externo. Más que un "teatro ontológico" de lo vivo, como los ha definido el historiador de la ciencia Andrew

[2] Warren McCulloch y Walter Pitts, "A Logical Calculus of the Ideas Immanent in Nervous Activity", *Bulletin of Mathematical Biophysics* 5, 1943: 115-33. Las redes neuronales artificiales fueron objeto de debate como arquitectura de computación mucho antes de que se introdujera el término "inteligencia artificial". Turing empezó a especular sobre maquinaria inteligente en 1947, mientras que McCarthy acuñó el término "inteligencia artificial" en 1955 (ver la introducción de este libro). Alan Turing, "Lecture to the London Mathematical Society", 20 de febrero de 1947, en Collected Works, vol. 1, North-Holland Publishing Company, 1985; Christof Teuscher, *Turing's Connectionism: An Investigation of Neural Network Architectures*, Berlin: Springer, 2012, viii.

[3] Margaret Boden considera que el ensayo de McCulloch y Pitts es un "manifiesto abstracto sobre psicología computacional", un texto fundacional para los linajes de la IA conexionista y simbólica. Margaret Boden, *Mind as Machine: A History of Cognitive Science*, Oxford: Oxford University Press, 2006, 190.

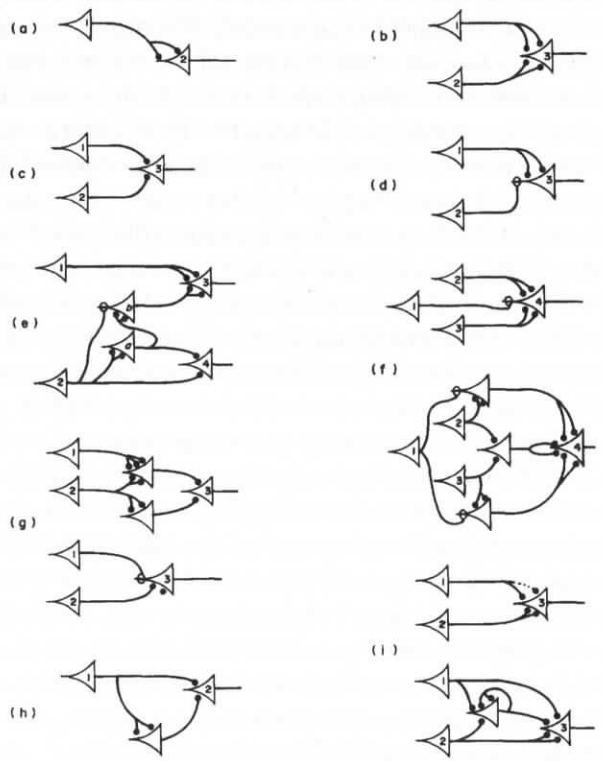


Figura 6.1. Esquema de neuronas artificiales. Warren McCulloch y Walter Pitts, "A Logical Calculus of the Ideas Immanent in Nervous Activity", *Bulletin of Mathematical Biophysics* 5, N° 4 (1943): 105.

Pickering, los experimentos cibernéticos de autoorganización fueron, en esencia, un laboratorio de lo social.[4]

En 1943, interpretando a su manera resultados de laboratorio, McCulloch y Pitts propusieron formalizar el cerebro humano como una "red nerviosa" que realiza operaciones lógicas (ver fig. 6.1). Imaginaron una red de nodos de computación que podían imitar el razonamiento humano, reduciendo la lógica humana a la lógica booleana y sus operaciones Y, O y NO. La analogía entre la anatomía cerebral, la inferencia lógica y los dispositivos informáticos se

[4] Andrew Pickering, *The Cybernetic Brain: Sketches of Another Future*, Chicago: University of Chicago Press, 2010; Andrew Pickering, "A Gallery of Monsters: Cybernetics and Self-Organization, 1940-1970", en *Mechanical Bodies, Computational Minds*, ed. Stefano Franchi y Güven Güzeldere, Cambridge, MA: MIT Press, 2005, 229-245.

basó en la observación de que las neuronas biológicas muestran un comportamiento de "todo o nada" o binario. Si la suma de los impulsos que una neurona recibe de sus sinapsis excitadoras e inhibidoras sobrepasa un límite determinado, la neurona envía una señal a la sinapsis de la neurona siguiente; de lo contrario, permanece inactiva.[5] Lo novedoso de la idea no era la *forma de red* en sí, sino la *lógica de umbral* que, en esa estructura, suplanta a los operadores booleanos y los pasos progresivos del razonamiento inferencial. Al ajustar el comportamiento de sus nodos, se decía que estas máquinas "aprendían" como cerebros, es decir, registraban información compleja a través de su autoorganización.

Algunos años antes, en 1938, el matemático y criptógrafo estadounidense Claude Shannon había demostrado que los circuitos eléctricos de conmutación podían ejecutar operaciones de lógica booleana. Diseñó las puertas lógicas Y, O y NO, que pronto se incorporaron a todos los transistores y microchips, sentando así las bases de la era informática.[6] El surgimiento de las redes neuronales como una idea clave para la IA se entiende mejor examinando las puertas lógicas de Shannon en lugar de la fisiología cerebral. En esencia, McCulloch y Pitts argumentaban que los circuitos neuronales del cerebro realizan las mismas operaciones que los circuitos eléctricos de Shannon. Si bien los libros de texto sobre aprendizaje automático reiteran que la idea de McCulloch y Pitts sobre las neuronas artificiales se inspiró en las estructuras y el comportamiento de las neuronas del cerebro, en realidad ocurre lo contrario: vieron, en primera instancia, las neuronas biológicas como artefactos tecnológicos. McCulloch y Pitts imaginaron de manera implícita la fisiología cerebral como homóloga a la tecnología de la comunicación de esa época, compuesta por relés electromecánicos, mecanismos de retroalimentación, escáneres de televisión y, sobre todo, redes telegráficas. En 1948, en el simposio de Hixon sobre mecanismos cerebrales, que se tratará más detalladamente en el próximo capítulo, McCulloch instó a sus colegas a "concebir las neuronas como relés telegráficos".[7]

Para un historiador de la ciencia y la tecnología, las redes neuronales artificiales de McCulloch y Pitts no parecen una idea completamente original sino la elaboración de una más antigua. Laura Otis, por ejemplo, demostró que la analogía entre el sistema nervioso y las redes eléctricas ya se había establecido

[5] Para ver de qué modo las neuronas representarían las afirmaciones lógicas, consideremos dos ejemplos. Supongamos que tanto A y B son fibras excitadoras y que un estímulo que viaja por cualquiera de ellas basta para cruzar el espacio sináptico. La situación física corresponde al enunciado formal: "Si A o B son verdaderas, entonces C es verdadera". Steve Heims, *The Cybernetics Group*, Cambridge, MA: MIT Press, 1991, 42.

[6] Claude Shannon, "A Symbolic Analysis of Relay and Switching Circuits", *Transactions of the American Institute of Electrical Engineers* 57, N° 12, 1938: 713-723.

[7] Lloyd A. Jeffress (ed.), *Cerebral Mechanisms in Behavior: The Hixon Symposium*, New York: Wiley, 1951, 45.

en el siglo XIX, y fue aprovechada, entre otros, por el inventor del telégrafo, Samuel Morse, y el físico Hermann von Helmholtz.[8] Como evidencia de este clima intelectual, en 1851, en una conferencia sobre el tema del movimiento de los animales citado al principio de este capítulo, el fisiólogo berlinés Emil Du Bois-Reymond explicó la similitud entre el sistema nervioso y las redes telegráficas eléctricas con un fervor visionario más cercano a la ciencia ficción que a la ciencia.

La impronta de las infraestructuras de comunicación se extendió más allá de la analogía del "telégrafo neuronal" del siglo XIX: también puede encontrarse en los proyectos cibernéticos de autoorganización del siglo XX, que siguieron siendo cruciales en la evolución de las redes neuronales artificiales. De hecho, la idea de computación autoorganizada capaz de adaptarse al entorno y "aprender" de forma duradera es una parte clave del "conjunto epistemológico" de la cibernética que allanó el camino al aprendizaje automático.[9] Debido a la hegemonía académica de la IA simbólica y la antropomorfización generalizada de la tecnología, es difícil imaginar la IA contemporánea como una técnica de información autoorganizada u "orden espontáneo" que surge de los datos. Y, sin embargo, es una descripción realista de lo que realmente hace el aprendizaje automático. El vínculo entre la computación autoorganizada del siglo XX y la IA del siglo XXI ha quedado oculto por un complejo estrato de avances tecnológicos, en el que hemos perdido de vista su origen y desarrollo. Este capítulo "excava" en este estrato, en una prehistoria del aprendizaje automático en la que las redes sociales, de comunicación e informáticas formaban parte de movimientos continuos (y contiguos) de autoorganización.

Mecanizar la autoorganización

En la segunda mitad del siglo XX, la autoorganización se convirtió en un tema popular en un amplio abanico de disciplinas, como la biología, la teoría del caos, la neurociencia, la termodinámica e incluso la economía neoliberal (si se tiene en cuenta el peculiar interés por el "orden espontáneo" de los mercados). ¿Cómo debemos interpretar esa búsqueda generalizada de los principios

[8] Ver Laura Otis, "The Metaphoric Circuit: Organic and Technological Communication in the Nineteenth Century", *Journal of the History of Ideas* 63, N° 1, 2002: 105-128. Ver también Laura Otis, *Networking: Communicating with Bodies and Machines in the Nineteenth Century*, Ann Arbor: University of Michigan Press, 2001; y Christoph Hoffmann, "Helmholtz' Apparatuses: Telegraphy as Working Model of Nerve Physiology", *Philosophia Scientiae* 7, N° 1, 2003: 129-149.

[9] Ver también Michael Castelle, "Deep Learning as an Epistemic Ensemble", 2018, castelle.org.

de la autoorganización? La primera impresión es de un movimiento diverso en busca de un principio ontológico de la vida; sin embargo, esa búsqueda de los principios de la "vida" parece reflejar los "principios de la autoorganización" que podían detectarse también en los cambios sociales del período de posguerra.

Al principio, fue la filosofía política moderna (con Spinoza y Kant) la que concibió la autoorganización y la autonomía como conceptos clave para teorizar el contrato social y la libertad individual. Pero, por algún motivo, a mediados del siglo xx, el principio de autoorganización emigró de la ontología social y se transformó en un ideal extrasocial para las filosofías vitalistas (con su máxima manifestación en la hipótesis Gaia de James Lovelock, que considera al planeta Tierra un superorganismo).[10] En 1977, Ilya Prigogine ganó el premio Nobel por sus estudios sobre las estructuras autoorganizadas en sistemas termodinámicos alejados del equilibrio.[11] Ese mismo año, el libro de Langdon Winner *Autonomous Technology* [Tecnología autónoma] presentó una nueva mutación en el discurso de la autoorganización, según el cual la tecnología, más que la naturaleza, se percibía como "autónoma" de lo humano y peligrosamente fuera de control, reviviendo así ciertas narrativas *frankensteinianas* de la era industrial.[12] Como muestran estos ejemplos, el concepto de autoorganización ha acumulado, a lo largo de diferentes siglos y disciplinas, una gruesa pátina ideológica. ¿Cómo y cuándo exactamente se consolidó la idea contemporánea de autoorganización?

Resulta curioso que, como observó la filósofa de la biología Evelyn Fox Keller, fuera la cibernética, que es una rama de la ingeniería electromecánica y no una ciencia natural, la que reiniciara el debate científico sobre la autoorganización en el siglo xx.[13] En la década de 1940, la cibernética se encargó del sueño moderno de construir "máquinas pensantes", aunque adoptando una técnica diferente de la del siglo anterior. En la era industrial, Babbage había imaginado la automatización del trabajo mental a través de una "máquina" que implementaba el cálculo manual. El razonamiento humano fue así codificado como un procedimiento lógico, como una secuencia lineal de operaciones paso a paso (que Alan Turing asociaría más tarde con la cinta telegráfica para imaginar su máquina epónima). Los cibernéticos exploraron otras formas de

[10] J. E. Lovelock, "Gaia as Seen through the Atmosphere", *Atmospheric Environment* 6, N° 8, 1972: 579-580.

[11] Gregoire Nicolis e Ilya Prigogine, *Self-Organization in Non-Equilibrium Systems*, New York: Wiley, 1977.

[12] Langdon Winner, *Autonomous Technology: Technics-Out-of-Control as a Theme in Political Thought*, Cambridge, MA: MIT Press, 1978.

[13] Evelyn Fox Keller, "Organisms, Machines, and Thunderstorms: A History of Self Organization", parte 1, *Historical Studies in the Natural Sciences* 38, N° 1, 2008: 45-75.

construir "autómatas inteligentes". En lugar de imitar las reglas del razonamiento humano, pretendían imitar las reglas por las que los organismos se organizan y adaptan al medio. La autoorganización se entendía, sobre todo, también como autorreproducción y autorreparación. Ese era un aspecto clave que Kant enfatizó en su definición de "seres orgánicos", que siguió siendo un principio rector para los cibernéticos.[14]

Los cibernéticos afirmaban haber descubierto un "mecanismo" básico de comportamiento en todos los organismos; es decir, información como un medio de retroalimentación con el entorno y la autorregulación interna. En uno de sus textos fundacionales, Arturo Rosenblueth, Norbert Wiener y Julian Bigelow afirmaban que "las amplias clases de comportamiento son las mismas en las máquinas y en los organismos vivos".[15] Aunque difieren en clases limitadas (los organismos, obviamente, no tienen ruedas, etc.), el artículo postulaba que tanto las máquinas como los organismos funcionan gracias a la retroalimentación de información que da forma a su propósito y teleología. De hecho, este principio de la cibernética había sido anticipado en la biología de principios de siglo por Jakob von Uexküll, que veía el organismo como un sistema de procesamiento de información que lucha por adaptarse a su entorno. Uexküll definió el intercambio entre el sistema nervioso de un animal (*Innenwelt*) y el mundo exterior (*Außenwelt*, o *Umwelt*) como un "círculo funcional" (*Funktionskreis*). Acuñado por Wiener, cabe recordar, el término "cibernética" (del griego *kybernetes*, o "timonel") se refería a la capacidad de un sistema técnico, social y vivo para controlarse a sí mismo mediante el intercambio de información con el entorno. Es muy evidente que tanto Uexküll como los cibernéticos tomaron de los sistemas de comunicación de su época —el telégrafo, el teléfono y las redes radiofónicas— una analogía con la interacción de los seres vivos con el entorno.

A pesar de que los cibernéticos, al principio, consideraban la información en forma de señales electromagnéticas analógicas, poco a poco se fueron inclinando por los "bits" digitales, discretos y computacionales.[16] Para los

[14] "En un producto natural como este, se considera que cada parte *debe* su presencia a la acción de todas las partes restantes, y que también existe *por el bien de las demás* y del todo, es decir, como un instrumento u órgano [...]. La parte debe ser un órgano que *produzca* a las otras partes, cada una, en consecuencia, produce de manera recíproca a las demás [...]. Solo en esas condiciones y en esos términos ese producto puede ser un *ser organizado y autoorganizado*, y, como tal, llamado un *fin físico*". Immanuel Kant, *Critique of Judgement*, 1790, citado en Keller, "Organisms, Machines, and Thunderstorms", parte 1, 49.

[15] Arturo Rosenblueth, Norbert Wiener y Julian Bigelow, "Behaviour, Purpose and Teleology", *Philosophy of Science* 10, N° 1, 1943: 18-24.

[16] Esa es la diferencia sutil entre las dos teorías de la información de Weiner y Shannon (analógica y digital, respectivamente). Ver Ronald Kline, *The Cybernetics Moment: Or Why We Call Our Age the Information Age*, Baltimore: Johns Hopkins University Press, 2015.

cibernéticos, no solo las máquinas en general, sino también las computadoras digitales (vale decir, los autómatas de estado finito) podían imitar los principios de autoorganización del ser vivo.[17] El psiquiatra británico Ross Ashby fue el teórico más importante de la autoorganización en la cibernética. Su artículo "Principles of the Self-Organising Dynamic System" [Principios del sistema dinámico autoorganizado] (1947) se empeñó en demostrar que la autoorganización no solo era una característica de lo vivo, sino que también podía serlo de máquinas "estrictamente determinadas", o sea, las computadoras:[18]

> Se ha negado ampliamente que una máquina pueda "autoorganizarse", es decir, que pueda estar determinada y, sin embargo, ser capaz de experimentar cambios espontáneos de organización interna. La cuestión de si eso puede ocurrir no tiene un interés puramente filosófico, ya que es un problema fundamental en la teoría del sistema nervioso. Existe mucha evidencia de que ese sistema es tanto (a) un sistema físico-químico estrictamente determinado, y (b) que puede experimentar reorganizaciones internas "autoinducidas" que provocan cambios de comportamiento. En ocasiones se ha afirmado que esos dos requisitos se excluyen mutuamente. El propósito de este artículo es mostrar que una máquina puede ser al mismo tiempo (a) estrictamente determinada en sus acciones, y (b) sin embargo, demostrar un cambio de organización autoinducido.[19]

Ashby puso en práctica esa teoría inventando el "homeostato" (cuyo nombre es un homenaje a la homeostasis de los sistemas vivos, tal como la definió Walter Bradford Cannon en 1926). Sin embargo, al estar construido a partir de cuatro voluminosas unidades electromecánicas, su capacidad de "autoorganización" era más bien lo contrario de una adaptación voluntaria a estímulos externos. Grey Walter la llamó sarcásticamente *machina sopora* ("máquina durmiente" en latín), ya que "su objetivo era permanecer quieta; solo cambiaba de estado cuando se la perturbaba desde el exterior".[20] En un artículo posterior de 1960, "Principles of the Self-Organizing System" [Principios del sistema autoorganizado], Ashby reguló por completo la autoorganización bajo un paradigma mecanicista, como una manera de deshacerse de la metafísica sobre el surgimiento de la vida: "Si bien en el pasado, los biólogos tendían a pensar que la organización era algo extra, algo *agregado* a las variables elementales, la teoría moderna, basada en la lógica de la comunicación, considera a la organización como una restricción o una limitación". No obstante, concluyó, de una manera que es un ejemplo esclarecedor del deseo típico de la automatización de reemplazar a la humanidad y adquirir invisibilidad: "Creo que en el futuro oiremos mucho menos la *palabra* ["organización"], aunque las *operaciones* a las que corresponde, en el mundo de las computadoras y de los mecanismos similares al cerebro, tendrán una importancia cada vez mayor en la vida cotidiana".[21]

Algunos cibernéticos como Ashby no buscaban la autoorganización simplemente como clave para la imitación de estructuras vivas, sino específicamente

[17] Según las definió Turing, las "máquinas de estado discreto [...] son las máquinas que pasan mediante saltos o clics repentinos de un estado bastante definido a otro". Alan Turing, "Computing Machinery and Intelligence", *Mind* 59, N° 236 (octubre de 1950), en *Essential Turing: Seminal Writings in Computing, Logic, Philosophy, Artificial Intelligence, and Artificial Life*, ed. B. Jack Copeland, Oxford: Oxford University Press, 446.

[18] Para ver un retrato de Ashby y su homeostato, consultar Pickering, "A Gallery of Monsters".

[19] Ross Ashby, "Principles of the Self-organizing Dynamic System", *Journal of General Psychology* 37, 1947: 125-128.

[20] Grey Walter, *The Living Brain*, London: Duckworth, 1953, 123; Pickering, *The Cybernetic Brain*, 164.

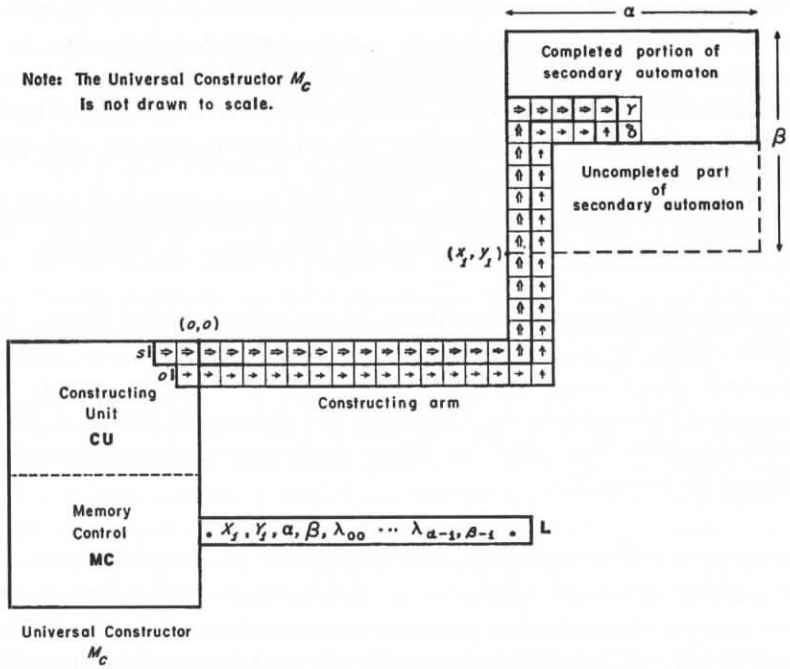


Figura 6.2. Brazo operador del constructor universal. John von Neumann, *Theory of Self-Reproducing Automata* (editado por Arthur Burks), Urbana, Il: University of Illinois Press, 1966, 371.

[21] Ross Ashby, "Principles of the Self-Organizing System", en *Principles of Self-Organization*, ed. Heinz von Foerster y George Zopf, New York: Pergamon Press, 1962, 255, 257.

de estructuras cerebrales. En consecuencia, estudiaron la autoorganización de las redes neuronales como clave para el comportamiento inteligente. En 1949 se llegó a un punto de inflexión en este debate, cuando el neuropsicólogo Donald Hebb publicó un libro fundamental, *La organización de la conducta* [The Organisation of Behavior], en el cual afirmaba haber identificado una regla básica de la autoorganización en las redes neuronales.[22]

Hebb registró un fenómeno peculiar mediante el cual las neuronas que eran estimuladas de manera simultánea también fortalecían su conexión:

> Cuando una célula ayuda repetidamente a estimular a otra, el axón de la primera célula desarrolla botones sinápticos (o los agranda si ya existen) en contacto con el soma de la segunda célula [...]. La idea general es vieja: dos células o sistemas de células que se activan repetidamente al mismo tiempo tienden a "asociarse", de modo que la actividad de una facilita la actividad de la otra.[23]

Desde entonces, este comportamiento cerebral se ha conocido como la teoría hebbiana de la "asamblea celular" y se ha plasmado en la famosa frase "las neuronas que se activan juntas permanecen conectadas". La de Hebb puede considerarse tanto la primera regla codificada de la neuroplasticidad como la primera regla de autoorganización para algoritmos de aprendizaje automático. En consecuencia, el científico cognitivo Frank Rosenblatt concibió la primera red neuronal artificial operativa —el Perceptrón— como una máquina autoorganizada e intentó aplicar la regla hebbiana en su funcionamiento (ver más adelante y el capítulo 9).

[22] Donald Hebb, *The Organisation of Behavior*, New York: Wiley & Sons, 1949. En ese libro, Hebb definió su teoría de la neuroplasticidad como "conexionista"; un término que Frank Rosenblatt reutilizó posteriormente para definir el "conexionismo" como el paradigma de las redes neuronales artificiales; ver capítulo 9.

[23] Hebb, *Organisation of Behavior*, 63-70.

Las teorías de la autoorganizción y las primeras computadoras digitales

En esa época, el campo de investigación sobre la autoorganización era más grande de lo que se lo percibe en la actualidad: basta con recordar que, tarde o temprano, todos los pioneros clave de la computadora digital, como John von Neumann, Konrad Zuse y Alan Turing, exploraron la autoorganización como una técnica de computación. Von Neumann (el diseñador de la arquitectura principal de las computadoras digitales que aún hoy lleva su nombre) investigaba formas radicales de automatización mientras trabajaba para las fuerzas armadas estadounidenses, especulando sobre una máquina —el Constructor Universal— capaz de reproducirse y repararse a sí misma (el ejército estaba interesado, por supuesto, en aplicar esta idea a vehículos y piezas de artillería autorreproducibles y autorreparables). La observación de los procesos de reproducción en "organismos vivos" inspiró su simulación en "máquinas computadoras", y estableció la cuestionable analogía entre las células orgánicas y las unidades de computación.[24] El Constructor Universal era una implementación de la teoría general de los autómatas celulares, es decir, una configuración de unidades de computación que cambian y evolucionan como células orgánicas en un espacio bidimensional (ver fig. 6.2). En ese espacio, básicamente, los autómatas celulares son conjuntos de elementos que cambian de configuración y se mueven en función de las "células" vecinas, componiendo figuras geométricas que evolucionan, pretendiendo imitar, de ese modo, formas de vida en el medio natural. En 1948, en el simposio de Hixon, Neumann instó a los demás delegados a entender la computación (incluidas las máquinas de Turing y las redes neuronales artificiales) como una forma de autoorganización, argumentando que las unidades autorreproducibles podían realizar todas las operaciones estándar de computación replicándose a sí mismas como células biológicas.[25] La idea de los autómatas celulares llegaría a ejercer una influencia duradera. Conocido por desarrollar la primera computadora eléctrica programable en Berlín en 1938, Zuse propuso ampliar

[24] Fue la conferencia de Erwin Schrödinger sobre "¿Qué es la vida?", en particular, la que inspiró un vínculo entre la entropía negativa de la fotosíntesis y la autoreproducción de la vida a través de un código (aún no se había descubierto el ADN). Ver también Peter Asaro, "Heinz von Foerster and the Bio-Computing Movements of the 1960s", en *An Unfinished Revolution? Heinz von Foerster and the Biological Computer Laboratory 1958-1976*, ed. Albert Müller y Karl H. Müller, Viena: Edition Echoraum, 2007.

[25] Ver también Alex Galloway, "Creative Evolution: Nils Aall Barricelli's Mathematical Organisms", *Cabinet* 42 (Verano de 2011).

la lógica de los autómatas celulares a la física y las leyes generales del universo. Su libro *Rechnender Raum* (*Calculating Space*) [Cálculo del espacio], publicado en 1967, consideraba que el universo estaba compuesto por unidades espaciales discretas que se autoorganizaban como autómatas celulares, a saber, de acuerdo con el estatus y el comportamiento de las unidades vecinas.[26] Según Zuse, las interacciones energéticas entre átomos pueden formalizarse como unidades de computación y, siguiendo ese abordaje, se podrían reescribir las leyes de la física —por ejemplo, la gravitación— de forma combinatoria. En este sentido, Zuse veía la teoría del cálculo del espacio como un paradigma que superaría a la física cuántica, de la misma manera que esta última había superado a la física clásica.[27] Desde un punto de vista epistemológico, nos volvemos a encontrar aquí con un paradigma mecánico que aspira abiertamente a convertirse en un paradigma de la naturaleza, no de las leyes biológicas en este caso, sino de las físicas. Precisamente, una máquina de estado finito, como la computadora digital, se eleva hasta convertirse en el modelo ontológico de la estructura del universo mismo.

"The Chemical Basis of Morphogenesis" [La base química de la morfogénesis], un ensayo escrito por Turing (publicado en 1952, dos años antes de su muerte), también pertenece a la tradición de la computación autoorganizada.[28] En este artículo tardío, Turing imaginaba las moléculas de los organismos como actores que se computan a sí mismos y que, a través de su interacción, expresan estructuras autopoiéticas complejas. Con este enfoque intentó simular los patrones de los tentáculos de la hidra, la disposición de los verticilos en las plantas, la gastrulación de los embriones, el moteado de la piel de los animales y la filotaxis de las flores como formas de computación autoorganizada. Para generar esos patrones (conocidos desde entonces como "patrones de Turing") usó una de las primeras unidades centrales de la Universidad de Manchester, aunque también realizó una gran cantidad de cálculos manuales (ver 6.3). Turing advirtió que "este modelo será una simplificación y una idealización y, en consecuencia, una falsificación", aunque expresó, como lo haría cualquier cibernético, la esperanza de que "los sistemas biológicos imaginarios que se han tratado, y los principios que se han discutido, sean de alguna ayuda para interpretar las formas biológicas reales".

[26] Konrad Zuse, "Rechnender Raum", en *Elektronische Datenverarbeitung* 8, 1967, traducido al inglés como *Calculating Space*, Cambridge, MA: MIT Technical Translation, 1970.

[27] Zuse, *Calculating Space*, 5.

[28] Alan Turing, "The Chemical Basis of Morphogenesis", *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 237, N° 641 (1952).

Figura 6.3. Diagrama que muestra patrones de manchas y cálculos. Alan Turing, circa 1950. Hoja AMT/K3/8, Turing Archive, King's College Cambridge, particular.

Preocupaciones militares por las redes autoorganizadas

Las teorías de la autoorganización no solo pertenecían a los sueños cibernéticos de los autómatas vivientes, sino también al arsenal de la lógica de la Guerra Fría.[29] Como suele ocurrir, el principal patrocinador de la investigación en este campo fueron las fuerzas armadas estadounidenses, que manifestaron su interés por la lógica de la autoorganización como medio alternativo y más

[29] Ver Paul Erickson *et al.*, *How Reason Almost Lost Its Mind: The Strange Career of Cold War Rationality*, Chicago: University of Chicago Press, 2013.

eficiente de computación. A fines de la década de 1950, la Oficina de Investigación Naval de Estados Unidos (ONR, por sus siglas en inglés) decidió patrocinar una serie de simposios sobre autoorganización, que aportan documentación histórica sobre la amplia acogida que tuvo en su momento la investigación sobre redes neuronales artificiales. Aunque resulte extraño, incluso la monumental historia de la IA de Margaret Boden no registra la existencia de estos simposios, y eso provocó que solo se le concediera importancia histórica reiteradamente a la Conferencia de Dartmouth de 1956 sobre IA.

En mayo de 1959, Marshall Yovits, jefe de la recién creada Subdivisión de Sistemas de Información de la ONR, presidió la conferencia sobre "Sistemas autoorganizados", en colaboración con el Instituto de Tecnología de Illinois. Yovits invitó a cibernéticos tanto de los campos conexionista como simbólico de la IA.[30] Anticipando de alguna manera el enfrentamiento inminente entre esos dos paradigmas y los límites de la última, argumentó que

> cierta clase de problemas, sobre todo los que implican intrínsecamente tipos de información no numérica, pueden resolverse de manera eficiente solo con el uso de máquinas que exhiban un alto grado de capacidad de aprendizaje o autoorganización. Algunos ejemplos de problemas de este tipo incluyen lectura automática de textos impresos, reconocimiento del habla, reconocimiento de patrones, traducción automática de idiomas, recuperación de información y control de sistemas grandes y complejos. Soluciones eficientes a problemas como esos probablemente requerirán de alguna combinación de una computadora de programa fijo almacenado y una máquina autoorganizada.

La conferencia ejemplificaba las ambiciones interdisciplinarias de la cibernética, y Yovits destacó cómo investigadores de los campos de las biociencias, psicólogos, embriólogos y neurofisiólogos, trabajaban juntos para comprender las características de los sistemas biológicos autoorganizados, mientras que, por otro lado, "matemáticos, ingenieros y físicos intentaban diseñar sistemas artificiales que pudieran exhibir propiedades autoorganizativas".[31]

Los registros de la conferencia ayudan a arrojar luz sobre el debate acerca de la autoorganización más allá de los temas canónicos de la cibernética. A

[30] También asistieron a la conferencia los representantes de la IA simbólica: Allen Newell, Cliff Shaw y Herbert Simon. Ver Stephanie Dick, "Of Models and Machines: Implementing Bounded Rationality", *Isis* 106, N° 3, 2015: 623-634. Ver también Shunryu Garvey, "The "General Problem Solver Does Not Exist: Mortimer Taube and the Art of AI Criticism", IEEE *Annals of the History of Computing*, 2021: 60-73.

[31] Marshall Yovits y Scott Cameron (eds.), *Self-Organizing Systems*, New York: Pergamon Press, 1960, v-vi.

pesar de la variedad de posturas que se exhibieron, el tema central de la conferencia siguió siendo la autoorganización de las redes de computación. El ingeniero eléctrico Belmont Farley inauguró la conferencia con un pantallazo sobre los principales "sistemas [visuales] que se organizan automáticamente para clasificar la información que proviene del entorno en perceptos o patrones reconocibles". El artículo de Farley era una continuación de los estudios que realizó durante la Segunda Guerra Mundial, cuando, durante el bombardeo de Londres, se encargó de probar un nuevo tipo de radar contra los aviones de la Luftwaffe que volaban a baja altura, lo que demostraba que la autoorganización del campo visual ya era claramente una preocupación de la automatización militar. Otros expositores de la conferencia fueron el zoólogo Robert Auerbach, que intentó describir "la organización y la reorganización de las células embrionarias" en términos matemáticos, específicamente como una "transferencia de información (inducción)" en células vivas, denominadas "autómatas evolutivos". En este proyecto de investigación ampliado para comprender el principio de la autoorganización en la naturaleza, el cibernético británico Gordon Pask aportó la idea de iniciar una "historia natural de las redes" con la intención de demostrar una similitud de cualidades entre las sociales y las naturales:

> [Si] un observador deseara usar cualquiera de las potencialidades de autoorganización que la red pudiera tener, entonces debería observar la red como si fuera un naturalista [...] usando el término "red" en un sentido general, para referirse a cualquier conjunto de entidades físicas interconectadas y mensurablemente activas. Las redes naturales, interesantes por su carácter autoorganizativo, son, por ejemplo, un pantano, una colonia de microorganismos, un equipo de investigación y un hombre.[32]

Este simposio de 1959 es importante también para ver, en perspectiva, la idea original de las redes neuronales artificiales planteada por McCulloch y Pitts, que no solo eran cajas negras de entrada y salida de información, sino sistemas que buscaban imitar y encarnar la neuroplasticidad. Una década después del artículo fundacional que escribiera con Pitts en 1943, McCulloch participó del simposio para subrayar que la autoorganización es clave para las redes neuronales y que el mismo principio debería utilizarse en el diseño de una "red infalible de neuronas falibles". La intuición de McCulloch (que aún sigue siendo tanto la fortaleza como el límite del aprendizaje automático) era que

[32] Gordon Pask, "Natural History of Networks", en ibid., 232.

la computación no necesita ser precisa para ser eficiente, sino que, en cambio, puede basarse "en redundancia de cálculo". En el paradigma de las redes neuronales artificiales, la "información llega a un montón de supuestas neuronas, y estas neuronas inútiles, trabajando en computación paralela, pueden llegar a la respuesta correcta aunque las neuronas componentes no se comporten bien".[33]

Un evento siguiente patrocinado por la ONR fue el "Simposio sobre los principios de la autoorganización", convocado por Heinz von Foerster en 1960, en colaboración con el Laboratorio de Computación Biológica de la Universidad de Illinois en Urbana-Champaign. Los registros de este simposio también dan testimonio de que las redes neuronales artificiales de McCulloch y Pitts, y también las de Rosenblatt, eran parte de un archipiélago más grande de proyectos de investigación similares sobre la autoorganización.[34] La mayoría de los expositores estaban vinculados con los campos de las redes neuronales (también llamadas "redes aleatorias") y abordaron temas como las técnicas de aprendizaje, la corrección de errores, la inferencia inductiva, la memoria distribuida, el reconocimiento de patrones, así como también prototipos de unidades de *hardware* autoorganizadas, o neuristores (lo que hoy se llamarían chips neuromórficos).

Entre los participantes debemos destacar la presencia del economista liberal Friedrich Hayek, que en 1952 escribió un tratado, a menudo olvidado, sobre el conexionismo, *El orden sensorial* (ver capítulo 8). La presencia de Hayek indica la superposición de intereses de militares, economistas, cibernéticos e industriales con respecto al tema de la autoorganización. Los cibernéticos, por su parte, estaban ansiosos por demostrar sus teorías en beneficio de la economía y la industria. No es casual que el simposio fuera inaugurado por Stafford Beer con su "electroencefalograma de una de las mayores plantas siderúrgicas británicas", que consideraba la organización de una fábrica como equivalente a un cerebro.[35] Beer ya había propuesto un "esquema de una fábrica cibernética" en su libro de 1959, *Cybernetics and Management* [Cibernética y administración], que ejemplificaba la actitud política de la cibernética para dar forma a máquinas, organismos y trabajadores de la misma manera. A pesar de su posterior colaboración con el gobierno socialista de Salvador Allende en el proyecto Cybersyn (1971), Beer mantuvo una visión administrativa de la economía. En esta conferencia, su preocupación principal parecía ser la autoorganización de

[33] Para McCulloch debía tratarse al cerebro como una organización de información desvinculada de toda dimensión energética y material: Warren McCulloch, "The Reliability of Biological Systems", en Yovits y Cameron, *Self-Organizing Systems*, 265.

[34] Heinz von Foerster y George Zopf (eds.), *Principles of Self-Organization*, New York: Pergamon Press, 1962.

[35] Ibid., ix.

la administración industrial —el ojo del amo— más que cualquier otro aspecto de la sociedad.

El final del proyecto Cybersyn es un ejemplo del destino retorcido de la política de la autoorganización. Cybersyn fue una red de comunicación para la administración de la economía chilena, contemporánea de Arpanet (progenitora de la internet, financiada por el Departamento de Defensa de Estados Unidos), pero menos avanzada. Arpanet era una red descentralizada basada en la conmutación de paquetes, mientras que Cybersyn seguía siendo una red centralizada de teletipos conectados con una única unidad central. Arpanet se basaba en la idea de que una red descentralizada de comunicaciones podría sobrevivir a un ataque enemigo, como las redes neuronales del cerebro se reorganizan en caso de una lesión. El ejército estadounidense se apropió de esta idea de plasticidad de las redes antes que nadie. El proyecto Cybersyn fue cancelado cuando un golpe de Estado apoyado por la CIA terminó con la vida de Salvador Allende (y con la democracia chilena).[36]

De la información lineal a la autoorganizada

Desde la perspectiva privilegiada del aprendizaje profundo actual, lo que parece tener una importancia clave es la participación de Frank Rosenblatt en estas conferencias. En 1957, en el Laboratorio Aeronáutico de Cornell en Buffalo, Nueva York, Rosenblatt desarrolló la primera red neuronal artificial estadística "Perceptrón", que, después de varias generaciones de mejoras, cimentaría la arquitectura del aprendizaje profundo. Rosenblatt asistió a esas conferencias para defender sus prototipos, que eran experimentos muy frágiles. Fruto de diversas influencias teóricas y técnicas (ver capítulo 9), el Perceptrón se concibió como una red de computación autoorganizada que, para reconocer un patrón, encontraría el valor óptimo de sus parámetros ajustándolos gradualmente a los datos de entrada. Como observó Rosenblatt en una de esas conferencias, el Perceptrón "llega a su organización de manera espontánea, en lugar de tenerla incorporada en el sistema".

¿Qué aspecto tenía el Perceptrón como dispositivo? Uno de los primeros prototipos, el Mark I Perceptrón, era una máquina analógica-digital compuesta por un dispositivo de entrada de 20 × 20 fotocélulas (llamado "retina"), conectado

[36] Ver Andrew Pickering, "The Science of the Unknowable: Stafford Beer's Cybernetic Informatics", *Kybernetes* (2004); Eden Medina. *Cybernetic Revolutionaries: Technology and Politics in Allende's Chile*, Cambridge, MA: MIT Press, 2014.

por medio de cables a una capa de neuronas artificiales que convergían en un único dispositivo de salida (una lucecita que se encendía o apagaba para indicar si se había reconocido o no un patrón). La retina del Perceptrón registraba formas simples como letras y triángulos, pasando señales eléctricas a una serie de neuronas artificiales que resumirían y memorizarían un resultado de acuerdo con una lógica acumulativa, implementando de algún modo la regla de Hebb para formar asambleas celulares, como Rosenblatt pretendía inicialmente.

En 1959, en la conferencia sobre "Sistemas autoorganizados", la contribución de Rosenblatt se centró en la generalización de estímulos visuales, dicho de otro modo, en el reconocimiento de patrones similares en un entorno ruidoso. Su artículo intentaba explicar "de qué modo un cerebro, o sistema parecido a un cerebro, puede reconocer la similitud entre varias transformaciones posibles de un patrón sensorial o imagen". El problema que abordó fue la capacidad de una red neuronal estadística de reconocimiento de patrones para generalizar más allá de los casos de su conjunto de datos de entrenamiento. En términos sencillos, era "el dilema de distinguir la [letra] N de la Z" en diferentes orientaciones visuales. La manera en que Rosenblatt explicó su proyecto podría usarse aún hoy para explicar el funcionamiento de un algoritmo de aprendizaje profundo:

> Este sistema es capaz de "abstraer" aquellas transformaciones que son más comunes en un entorno determinado y aplicarlas a nuevos estímulos, que podrían ser muy diferentes, en cuanto a forma, de cualquiera que haya visto hasta ahora. Parece lograr todos los resultados de sistemas diseñados de forma más rígida, pero llega a su organización de manera espontánea, en lugar de tenerla incorporada en el sistema. A decir verdad, es un sistema que "aprende a aprender", en el sentido de que antes de la experiencia de preacondicionamiento solo sería capaz de generalizar a partir de un estímulo dado a su transformación por el método lento y laborioso de la generalización por contigüidad, mientras que después de haber visto una secuencia de preacondicionamiento adecuada (que no incluya los estímulos que se utilizarán para la prueba), realiza la misma tarea directamente y sin necesidad de ningún período de aprendizaje apreciable.[37]

Como explicó Rosenblatt en la conferencia de 1961, "Principios de la autoorganización", el diseño del Perceptrón se diferenciaba de las redes neuronales

[37] Frank Rosenblatt, "Perceptual Generalization over Transformation Groups", en Yovits y Cameron, *Self-Organizing Systems*, 95.

artificiales anteriores precisamente por su comportamiento autoorganizador, que era posible gracias a su "sistema de control por refuerzo".[38] A pesar de que, según Rosenblatt, era un "modelo de cerebro", el Perceptrón tenía mucho más que ver con la autoorganización de la información que con la imitación de estructuras orgánicas. Por lo tanto, marcó no tanto un giro biomórfico en la computación sino uno topológico. Los científicos de la computación Marvin Minsky y Seymour Papert rebautizaron el conexionismo, de manera un poco peyorativa, como "geometría computacional", porque se basaba en el cálculo de relaciones espaciales en lugar de ser un caso de "verdadera IA".

Este giro topológico marcó, de manera más general, el paso de un paradigma de información lineal a uno de autoorganización en el cual, sostengo, debe considerarse la gran familia de técnicas de aprendizaje automático. Efectivamente, introdujo una segunda dimensión espacial en un modelo de computación que, hasta entonces, había sido entendido primordialmente dentro de la dimensión lineal de las computadoras numéricas. En lugar de procesar una matriz visual a través de un algoritmo descendente (como en un programa tradicional de instrucciones, siguiendo el esquema de la máquina de Turing), el Perceptrón computaba los pixeles de su matriz visual de manera ascendente y paralela en función de su disposición espacial. Con respecto a las formas computacionales, algunas redes neuronales artificiales como el Perceptrón marcaron de manera implícita la bifurcación entre esos dos paradigmas: el de la *información lineal* (representado a grandes rasgos por medios como los telégrafos y las computadoras numéricas, así como también la IA simbólica) y el de la *información autoorganizada* (representado por los sistemas cibernéticos, los autómatas celulares y, en definitiva, la IA conexionista). Los historiadores de la IA Hubert y Stuart Dreyfus resumieron la distinción epistemológica entre las escuelas simbólica y conexionista de una manera similar:

> Una facción veía a la computadora como un sistema para manipular símbolos mentales; la otra, como un medio para crear un modelo del cerebro. Una buscaba usar la computadora para ejemplificar una representación formal del mundo; la otra, para simular las interacciones de las neuronas. Una tomaba la resolución de problemas como su paradigma de inteligencia; la otra, el aprendizaje. Una usaba la lógica; la otra, la estadística. Una escuela era heredera de la tradición racionalista, reduccionista de la filosofía; la otra se veía como una neurociencia idealizada, holística.

[38] En comparación, la red Pandemonium de Oliver Selfridge se basaba en nodos hechos a mano para extraer características predeterminadas. Oliver G. Selfridge, "Pandemonium: A Paradigm for Learning", *Proceedings of the Symposium on the Mechanization of Thought Processes* 1, 1959: 511-529.

Este libro no hace una recapitulación de la saga de la información lineal en el siglo XX —de los bucles de retroalimentación cibernéticos, los medios secuenciales y la IA simbólica—, sino que cuenta la historia paralela de la información autoorganizada que, sin embargo, es necesaria para emanciparse del legado del biomorfismo y los paradigmas de investigación como la Vida Artificial.[39]

Pensamiento computacional y analogías mecanicistas de la mente

Existe un malentendido importante con respecto a las aspiraciones científicas de la cibernética. En realidad, la cibernética no era una ciencia sino una escuela de ingeniería travestida; una con la suficiente confianza en sí misma para extender sus analogías informativas y computacionales a varios aspectos de la naturaleza y la sociedad. Este libro intenta aclarar que, en lugar de diseñar máquinas como organismos (*biomorfismo*), como profesaban, los cibernéticos imaginaron finalmente organismos como máquinas (*tecnomorfismo*), que reflejaban el propio orden social circundante (*sociomorfismo*). Al igual que las filosofías de la naturaleza de siglos anteriores (el ejemplo canónico sería *L'homme Machine* de La Mettrie, de 1747), los cibernéticos proyectaron sobre la ontología de la naturaleza y del cerebro la composición técnica de su época, conformada por redes telegráficas, relés electromecánicos, sistemas de retroalimentación y escáneres de televisión. Los cibernéticos no seguían un método científico y experimental, sino un método especulativo (y a menudo ingenuo) de *analogía*, que trazaba reglas preconstituidas sobre la naturaleza en lugar de formular hipótesis sobre otras nuevas. La insistencia de McCulloch, Pitts y Von Neumann en que las neuronas cerebrales son "órganos de conmutación" funcionalmente equivalentes a los relés electromecánicos es un buen ejemplo de las analogías presuntuosas de los cibernéticos.[40]

La analogía entre organismos y máquinas parece ser, a primera vista, una cuestión de traducción epistemológica entre disciplinas, la ingeniería y la biología, pero, en realidad, apunta a una actitud más profunda de la ingeniería cibernética: ¿cuáles son las implicancias éticas de percibir una máquina industrial como un organismo, un ser vivo? Al igual que la "ciencia de la computación", la cibernética no era una ciencia, sino un lenguaje artificial, un manual de instrucciones para los componentes de una máquina, una "semiótica de las máquinas" que se tradujo a la fuerza en una ontología de la naturaleza.[41] Pero si es cierto que la tecnología puede ejercer influencia sobre los paradigmas científicos y los modelos del universo, no es menos cierto que la tecnología tiene sus propios demonios y está moldeada por fuerzas externas dentro de su propio ámbito. Las redes de comunicación, como el telégrafo, por ejemplo, no son simplemente aparatos técnicos, sino instituciones sociales. Los cibernéticos proyectaron la composición técnica implícita en su propia profesión, bajo la forma de su trabajo y su conocimiento, sobre un nuevo paradigma del mundo. Específicamente, proyectaron sobre la naturaleza formas de autoorganización que ya formaban parte de la división del trabajo y la organización técnica de la sociedad que los rodeaba. La manera en que los cibernéticos afirmaban imitar la autoorganización de los seres vivos para construir máquinas revelaba implícitamente más sobre la organización de la sociedad y las relaciones laborales de su época que sobre la naturaleza.

McCulloch afirmó en una ocasión que "todo robot insinúa una hipótesis mecanicista con respecto al hombre".[42] Esta tesis de la epistemología cibernética argumenta que la invención de máquinas puede ayudar a descubrir conocimientos sobre el funcionamiento del ser humano, siguiendo la idea reduccionista de que las máquinas y los organismos existen en el mismo universo y, por lo tanto, deben obedecer las mismas reglas físicas. Pero aquí la palabra "robot" es reveladora, debido a su legado industrial y feudal, y puede sugerir otro significado. Interpretada con todas sus implicancias, esta tesis podría insinuar realmente que toda forma de automatización del trabajo dice algo sobre los modelos cognitivos de una época determinada. Al final, confirma una de las principales preocupaciones de la epistemología histórica: que la organización del trabajo en una época determinada influye sobre la formación de tecnologías e instrumentos, y a partir de ahí también de paradigmas científicos, concepciones de la naturaleza y modelos de la mente.

[39] Hubert Dreyfus y Stuart Dreyfus, "Making a Mind versus Modeling the Brain: Artificial Intelligence Back at a Branchpoint", *Daedalus* 117, 1988: 15-44.

[40] "La neurona, al igual que el tubo de vacío [...] son dos ejemplos de la misma entidad genérica, que acostumbramos llamar órgano de conmutación u órgano relé [...]. Los órganos de conmutación básicos de los organismos vivos, por lo menos en la medida en que los consideramos aquí, son las neuronas. Los órganos de conmutación básicos de los tipos recientes de máquinas computadoras son los tubos de vacío; en las más antiguas eran total o parcialmente relés electromecánicos". John von Neumann, "The General and Logical Theory of Automata", en Jeffress, *Hixon Symposium*, 12.

[41] Sobre la expresión "semiótica de las máquinas", ver el capítulo 2 de este libro y Simon Schaffer, "Babbage's Calculating Engines and the Factory System", *Réseaux* 4, N° 2, 1996: 280. Herbert Simon intentó definir "las ciencias de lo artificial" en el libro homónimo, pero el resultado está lejos de ser riguroso. Herbert Simon, *The Sciences of the Artificial*, Cambridge, MA: MIT Press, 1969.

[42] Warren McCulloch a Hans Lukas Teuber, 10 de diciembre de 1947. Citado en Ronald R. Kline, *The Cybernetics Moment: Or Why We Call Our Age the Information Age*, Baltimore: Johns Hopkins University Press, 2015, 46. El término "robot" proviene de la palabra checa usada en la época feudal para decir "sirviente".

Lo que se ha expuesto sobre la era industrial parece ser cierto también para la era de la información: los *medios de producción* (no solo telégrafos y computadoras, en este caso, sino también redes neuronales artificiales) imitan —en su diseño interno— las *relaciones de producción*, es decir, la organización ampliada del trabajo en la sociedad. Las tecnologías de la información aumentaron su dominio sobre la sociedad gracias a esa adaptación, no por el poder de un *a priori* tecnológico (como sostienen los tecnodeterministas), sino por medio de un *a priori* social, es decir, por su capacidad innata para captar la cooperación social. La *teoría laboral de la automatización* del siglo XIX también encuentra confirmación en la era de la información.

A fin de cuentas, no es de extrañar que la técnica de IA más exitosa, es decir, las redes neuronales artificiales, sea la que mejor puede reflejar, y, por lo tanto, captar, la cooperación social. El paradigma de la IA conexionista no se impuso sobre la IA simbólica porque la primera sea "más inteligente" o mejor para imitar las estructuras cerebrales, sino, más bien, porque los algoritmos inductivos y estadísticos son más eficientes para captar la lógica de la cooperación social que los deductivos. Al seguir la evolución desde la información lineal a la autoorganizada, la historia del análisis de datos, el aprendizaje automático y la IA pueden empezar a verse en perspectiva como un gran proceso de autoorganización dentro de la tecnósfera para seguir la transformación del orden social.

Las disciplinas y denominaciones de la teoría de la información, la cibernética, la inteligencia artificial y la informática se consolidaron en la década de 1950.[43] Si bien las fuerzas armadas estadounidenses, como hemos visto, desempeñaron un papel importante en la financiación de muchos de estos proyectos, sería un error suponer que merecen todo el crédito por el origen de estas disciplinas. De hecho, este libro pretende ampliar esta genealogía establecida. Frente a las lecturas tecnodeterministas y fuertemente internalistas de las tecnologías de la información, propongo una hipótesis externalista igualmente sólida: que el diseño de las máquinas informáticas respondió —incluso al nivel de las formas lógicas de sus algoritmos— a las formas de interacción social en general.[44]

[43] Respectivamente, la teoría de la información fue presentada por Shannon en 1948, la cibernética por Wiener en 1948, la inteligencia artificial por McCarthy en 1955, el aprendizaje automático por Arthur Samuel en 1959 y la informática por George Forsythe en 1961. Ver George Forsythe, "Engineering Students Must Learn Both Computing and Mathematics", *Journal of Engineering Education* 52, 1961; y en particular, Donald Knuth, "George Forsythe and the Development of Computer Science", *Communications of the* ACM 15, 1972). Sobre las demás referencias ver más arriba.

[44] Sobre una interpretación opuesta, ver la tesis de Friedrich Kittler acerca de que la Segunda Guerra Mundial fue el motor principal del desarrollo de la computadora digital. Ver Geoffrey Winthrop-Young, "Drill and Distraction in the Yellow Submarine: On the Dominance of War in Friedrich Kittler's Media Theory", *Critical Inquiry* 28, N° 4, 2002: 825-854.

En otras palabras, en el siglo XX, no fueron las tecnologías de la información las que principalmente remodelaron la sociedad, como da a entender la visión mitificada de la "sociedad de la información", sino que fueron las relaciones sociales las que forjaron desde dentro las redes de comunicación, las tecnologías de la información y las teorías cibernéticas. Los algoritmos de la información se diseñaron según la lógica de la autoorganización para captar mejor un campo social y económico que estaba sufriendo una transformación radical.

Autonomía y automatización

En la segunda mitad del siglo XX, el lema común de la cibernética y la contracultura emergente fue "¡Autonomía!". Cibernéticos de alto nivel financiados por el ejército estadounidense debatían los "principios de la autoorganización" en organismos y máquinas al igual que los movimientos antiautoritarios proponían lo mismo para las instituciones sociales y políticas. Como tales, esas dos tendencias debatían, con fines diferentes, la capacidad de un sistema para darse a sí mismo nuevas reglas por encima y en contra de un gobernante externo (que es, de hecho, el significado original de "autonomía"). Ambas, cada una a su manera, eran formas de vanguardia política y una respuesta al dominio de regímenes caducos: el fascismo europeo, el totalitarismo estalinista y el capitalismo estadounidense. Los términos "cibernética" y "generación *beat*" se acuñaron, casualmente, en 1948. Algunos años después, Norbert Wiener definió tanto al fascismo como al corporativismo occidental como ideologías del "uso inhumano de los seres humanos" frente a las cuales la cibernética pretendía ofrecer un "uso [más] humano de los seres humanos".[45] Pero mientras la cibernética reforzaba de hecho la primacía militar estadounidense durante y después de la Segunda Guerra Mundial, la contracultura y el movimiento estudiantil boicoteaba firmemente la guerra de Vietnam y la carrera armamentista. El proyecto de autonomía, obviamente, significaba cosas distintas para estos diferentes grupos. Para los movimientos antiautoritarios, representaba la libertad de autodeterminación y un medio para constituir nuevas instituciones y formas alternativas de vida. Para los cibernéticos, era la utopía tecnológica de la automatización total y el control social ilustrado: una fantasía militar e industrial que incluía también el proyecto de la IA. El hecho de que incluso los militares —la estructura más tradicionalmente jerárquica— también tuvieran

[45] Norbert Weiner, *The Human Use of Human Beings*, Boston: Houghton Mifflin, 1950, 71.

interés en formas de comunicación distribuida y redes autoorganizadas es una señal de transformaciones más profundas.

En la década de 1960, el Movimiento por la Libertad de Expresión de la Universidad de California, Berkeley, condenó con justa razón las primeras unidades centrales como tecnología de guerra y control social en manos del gobierno y las corporaciones. El especialista en medios de comunicación Fred Turner recuerda que el 2 de diciembre de 1964, ante más de cinco mil estudiantes de la Universidad de California, Berkeley, el activista Mario Savio dio un discurso incendiario en el que "pronunció tres frases que llegarían a definir no solo el Movimiento por la Libertad de Expresión de Berkeley, sino también la militancia contracultural de la década de 1960 en toda América y gran parte de Europa":

> Llega un momento en que la operación de la máquina se vuelve tan odiosa, te repugna tanto que no puedes participar, ni siquiera de manera tácita. Y tienen que poner los cuerpos sobre los engranajes y sobre las ruedas, sobre las palancas, sobre todo el aparato, y tienen que obligarla a que se detenga. Y tienen que decirles a las personas que la operan, a los dueños, que a menos que sean libres, se impedirá el funcionamiento de la máquina.[46]

Para Turner, el discurso de Savio evocaba recuerdos de la era predigital, con imágenes de trabajadores luchando físicamente contra las máquinas en las fábricas. Sin embargo, también vinculó el término "máquina" con la dependencia de la sociedad moderna de la tecnología de la información, que también empezaba a organizar relaciones sociales de manera significativa.[47]

Esas críticas a las tecnologías de la información cambiaron la polaridad en la década siguiente: la informática absorbió las aspiraciones de la contracultura anterior, mientras que la propia contracultura afirmaba el potencial emancipador de las tecnologías de la información (y terminaron mutando en la llamada cibercultura). La controvertida imbricación de la autonomía social y la automatización tecnológica ya estaba presente, aunque de manera subterránea, en los debates de la década de 1960. Los componentes de la contracultura, en especial los inspirados por la espiritualidad oriental, desarrollaron una atracción ingenua por la cibernética.[48] *The Whole Earth Catalog* [El catálogo de toda la Tierra], publicado en California entre 1968 y 1972, llegó a representar una culminación

[46] Fred Turner, *From Counterculture to Cyberculture: Stewart Brand, the Whole Earth Network, and the Rise of Digital Utopianism*, Chicago: University of Chicago Press, 2010, 11.

[47] Ibid., 11.

[48] Ver Pickering, *The Cybernetic Brain*.

y una síntesis de las tradiciones cibernéticas y ecológicas. Richard Brautigan plasmó esa convergencia en su famoso poema satírico "All Watched Over by Machines of Loving Grace" [Todo vigilado por las máquinas de la gracia amorosa].[49] Por otro lado, algunas voces europeas, como la de Herbert Marcuse de la Escuela de Frankfurt y los marxistas autonomistas, recuperaron la automatización en la batalla de emancipación del trabajo industrial. En Italia, un famoso lema de la *autonomía* exclamaba: "Lavoro zero e reddito intero, tutta la produzione all'automazione" (Cero trabajo e ingresos totales, toda la producción a la automatización).

Los términos "autonomía", "autónomo", "automatización" y "autonomización" (que significa, según el contexto, "estar automatizado" o "volverse autónomo") no son equivalentes y también difieren de "autoorganización". Desde el punto de vista etimológico, el término griego clásico *autonomia* —de *autos* ("uno mismo") y *nomos* ("ley")— significa la capacidad de darse a uno mismo nuevos hábitos, normas y leyes. La modernidad reconoce esta capacidad como perteneciente a las instituciones legislativas, en especial a la asamblea constituyente que funda el orden político del Estado.[50] La autonomía es, de manera simultánea, un poder constituyente y destituyente: cada vez que se inventa una nueva norma, una antigua puede ser subvertida, anulada o incorporada por la nueva invención. Pero también ocurre lo contrario: cada vez que se rompe una norma, se produce una anomalía y se insinúa una nueva constitución, una nueva visión del mundo.

En cibernética, se definía autonomía como la capacidad de un sistema técnico de agentes múltiples para encontrar una nueva organización y equilibrio en relación con la información que proviene del exterior, es decir, la capacidad para adaptarse al entorno. De esta manera, se establecía que un sistema técnico mostraba propiedades emergentes que podían ser percibidas como "inteligentes" por un observador humano. Estos interrogantes siguen rondando el sueño de la inteligencia artificial, incluso ahora: ¿un autómata de estado finito —es decir, una computadora— puede mostrar propiedades de autonomía? ¿Una computadora programada para seguir reglas estrictas puede rebelarse contra sus instrucciones básicas e inventar otras nuevas? Si la autonomía es la capacidad para inventar una nueva norma, la automatización puede definirse como

[49] Richard Brautigan, *All Watched Over by Machines of Loving Grace*, San Francisco: Communication Company, 1967.

[50] En sus primeras investigaciones, el académico alemán Niklas Luhmann, que elaboró la teoría de sistemas, observó que el orden institucional tenía que hacer frente al creciente papel normativo de los aparatos técnicos: Niklas Luhmann, *Recht und Automation in der öffentlichen Verwaltung: Eine verwaltungswissenschaftliche Untersuchung*, Berlin: Duncker & Humblot, 1966.

el seguimiento ciego de una norma, como es el caso de la computación. En este sentido, el filósofo austríaco Ludwig Wittgenstein comentó que "seguir una norma" siempre tendrá un significado diferente para un ser humano y para una máquina.[51] Considerando los debates recientes sobre el sesgo de la IA y la especulación sobre los riesgos de "superinteligencia", nos preguntamos si el juego de la IA se sigue jugando en el ámbito de la automatización (siguiendo una regla) más que en el ámbito de la autonomía (el de romper reglas).

Para concluir, una afirmación contrapuesta: las tecnologías de la automatización siempre han sido respuestas a la autonomía social, y las técnicas cibernéticas de autoorganización, como las redes neuronales artificiales, han sido, del mismo modo, avatares de las relaciones sociales emergentes de su época. En retrospectiva, tanto la cibernética como los movimientos sociales de posguerra estaban directamente relacionados con la autonomización del conocimiento y la información en los procesos de trabajo y las conductas sociales, que habían desencadenado el surgimiento de nuevos medios y tecnologías. A lo largo de los años, estos puntos se han convertido en una interpretación convencional de las teorías de la sociedad del conocimiento y la economía de la información, hasta el punto de que incluso los paradigmas económicos neoliberales, como el orden espontáneo de los mercados de Hayek, o "catalaxia", pueden considerarse respuestas al aumento del intercambio de información en la sociedad en general (ver el capítulo 8). Los historiadores materialistas admiten las relaciones dialécticas de los dos movimientos; entre el impulso por autonomía social de las nuevas generaciones de trabajadores, por un lado, y la aparición de nuevas tecnologías de automatización, por el otro. En definitiva, los diversos proyectos de automatización posteriores a la Segunda Guerra Mundial fueron una manera de gobernar las fuerzas sociales en desarrollo, o dicho de otro modo, de organizar una "revolución del control" (como la definió Beniger) contra una sociedad más rebelde.[52] No es una coincidencia que, por lo menos en el Norte Global, los estudiantes y los programadores de computadoras se transformaran en una nueva subjetividad política similar al movimiento obrero industrial, dada una economía global cada vez más dependiente de la información, el conocimiento y la ciencia como motores económicos clave.

A fines de la década de 1960, el filósofo político Mario Tronti propuso invertir una tesis que entonces también se había popularizado en el marxismo: siempre se consideró que el desarrollo capitalista moldeaba la organización de los

[51] Ver Stuart G. Shanker, *Wittgenstein's Remarks on the Foundations of AI*, London: Routledge, 1998.

[52] James Beniger, *The Control Revolution: Technological and Economic Origins of the Information Society*, Cambridge, MA: Harvard University Press, 1986.

trabajadores y su política. Por el contrario, Tronti afirmó que el desarrollo capitalista, incluida la innovación tecnológica, siempre era desencadenado por las luchas de los trabajadores. Es interesante señalar que, para un intelectual europeo como Tronti, "la lucha de la clase obrera alcanzó su máximo nivel de desarrollo entre 1933 y 1947, y concretamente en Estados Unidos", que, casualmente, son los años que testimonian el surgimiento de la cibernética y la computación digital.[53] Deberían explorarse perspectivas radicales y poco convencionales como esta para narrar la evolución combinada de la sociedad y la tecnología a lo largo de los siglos XX y XXI. A través de las transformaciones históricas que este libro intenta analizar, parece que el proyecto de la IA nunca fue verdaderamente *biomórfico* (diseñado para imitar la inteligencia natural, como se mencionó antes), sino implícitamente *sociomórfico* (pensado para codificar las formas de cooperación social e inteligencia colectiva para controlarlas.[54] El destino de la automatización de la inteligencia no puede considerarse independiente del impulso político hacia la autonomía: en definitiva, fue la autoorganización de la mente social lo que dio forma e impulso al proyecto de la IA.[55]

[53] Mario Tronti, "Postscript of Problems", en *Operai e capitale*, 2nd ed., Torino: Einaudi, 1971, traducido al inglés como *Workers and Capital*, London: Verso, 2019, 294. Ver también Raniero Panzieri, "Sull'uso capitalistico delle macchine nel neocapitalismo", *Quaderni Rossi* 1, 1961: 53-72.

[54] Ver también Matteo Pasquinelli, "Abnormal Encephalization in the Age of Machine Learning", e-flux 75 (septiembre de 2016).

[55] Sobre una perspectiva general de las ideas del cerebro social y la inteligencia colectiva en la teoría política contemporánea, ver Charles Wolfe, "The Social Brain: A Spinozist Reconstruction", ASCS, Actas de la Novena Conferencia de la Australasian Society for Cognitive Science, 2009, 366-374.

7. LA AUTOMATIZACIÓN DEL RECONOCIMIENTO DE PATRONES

Mientras la revolución industrial concluye con bombas más grandes y mejores, se abre una revolución intelectual con robots más grandes y mejores.

Warren McCulloch[1]

Es necesaria una nueva teoría, esencialmente lógica, para comprender los autómatas de alta complejidad y, en particular, el sistema nervioso central. Sin embargo, es posible que en este proceso la lógica tenga que sufrir una pseudomorfosis hacia la neurología en un grado mucho mayor que a la inversa.

John von Neumann[2]

La controversia sobre la percepción Gestalt

En el corazón de la idea que allanó el camino para las redes neuronales artificiales se encuentra una controversia persistente: si la percepción humana es o no un acto de cognición que puede representarse de manera analítica y, por lo tanto, mecanizarse. La confrontación sobre este tema estalló en la década de 1940 durante las conferencias Macy entre los cibernéticos (que argumentaban que el campo perceptivo en su conjunto puede ser computado por máquinas, como simples relés eléctricos) y la escuela de la Gestalt (que sostenía que una máquina nunca sería capaz de emular la compleja facultad sintética de la mente humana).[3] Constituyó un nuevo capítulo de la continua controversia de la

[1] Lloyd A. Jeffress (ed.), *Cerebral Mechanisms in Behavior: The Hixon Symposium*, New York: Wiley, 1951, 42.
[2] Ibid., 24.
[3] Ver Claus Pias (ed.), *Cybernetics: The Macy Conferences 1946-1953; The Complete Transactions*, Berlin: diaphanes, 2016; Steve Heims, *The Cybernetics Group*, Cambridge, MA: MIT Press, 1991, caps. 9-10. Steve Heims lo llamó la

Gestalt que llegó desde Europa; sin embargo, esta vez, sus protagonistas eran exiliados de la Alemania nazi en Estados Unidos, entre los cuales había matemáticos e ingenieros, además del elenco previo de filósofos, psicólogos y neurólogos.[4] De hecho, fue a raíz de este debate que la expresión "percepción Gestalt" se transformó gradualmente en informes militares y publicaciones académicas, en "reconocimiento de patrones", como se dice actualmente, y dio impulso a los experimentos con redes neuronales artificiales.[5]

Algunos cibernéticos como Warren McCulloch y Walter Pitts proponían una simplificación dramática del acto de la percepción, ante el que cualquier historiador del arte se opondría. Sin embargo, su investigación produjo un gran avance en la "automatización de la percepción" que se plasmaría, medio siglo después, en las conocidas hazañas del aprendizaje profundo.[6] Antes de que los cibernéticos redujeran la facultad de percepción a un simple acto binario de clasificación (si una imagen pertenece o no a una clase determinada), estudiosos de la Gestalt como Max Wertheimer, Kurt Koffka y Wolfgang Köhler habían planteado una teoría más compleja de la percepción. Como es bien sabido, la teoría de la Gestalt se refiere al hecho de que percibimos el todo antes que sus partes: una melodía, por ejemplo, sigue siendo perceptible aunque se toque en una escala diferente y con sonidos diferentes. Señaló diversos fenómenos de cierre de una imagen, como la percepción subconsciente de una configuración en su totalidad a pesar de la información limitada sobre sus elementos (por ejemplo, la percepción de un triángulo en la relación abstracta de tres elementos separados). Finalmente, se formalizó en los principios de *Prägnanz* (proximidad, similitud, continuidad, conexión, etc.) y se encapsuló en el famoso lema: "El todo es más que la suma de sus partes".

Los manuales de aprendizaje automático repiten el relato estándar de que la invención de las redes neuronales artificiales de McCulloch y Pitts se inspiró en la neurofisiología del cerebro, mientras pasan por alto el contexto intelectual

controversia de la "Gestalten go to bits". [N. de la T.: Un juego de palabras de la frase hecha "go to bits" (hacerse pedazos, desintegrarse) y una lectura más literal que podría implicar "descomponerse en bits".]

[4] Ver Mitchell G. Ash, *Gestalt Psychology in German Culture, 1890-1967: Holism and the Quest for Objectivity*, Cambridge: Cambridge University Press, 1998.

[5] El término alemán "Gestalt" a menudo se traduce al inglés como "form" [forma], a pesar de que el alemán posee la palabra *Form*. Probablemente, la mejor traducción al inglés sea "*configuration*" [configuración], que es una forma entendida en su estructura general y sus implicaciones internas. El término "*pattern recognition*" [reconocimiento de patrones] fue popularizado en 1960 por *Scientific American*: Oliver G. Selfridge y Ulric Neisser, "Pattern Recognition by Machine", *Scientific American* 203, N° 2, 1960: 60-69. Ver también William D. Rowe, "Gestalt Pattern Recognition with Arrays of Predetermined Neural Functions", en *International Joint Conference on Artificial Intelligence*, 1969: 117-140.

[6] Paul Virilio usó las expresiones "automatización de la percepción" y "visión artificial" en relación con la red neuronal Perceptrón en *The Vision Machine*, Indiana University Press, 1994. Ver capítulo 9 de este libro.

más amplio que incluye su confrontación con la Escuela de la Gestalt. Aunque las redes neuronales artificiales pueden considerarse una solución brillante a un reto de automatización, fue la Escuela de la Gestalt la que estableció la percepción de una forma visual como cuestión clave a abordar. El problema específico que la teoría de la Gestalt pedía a los cibernéticos que resolvieran con urgencia, a través de una arquitectura computacional, era el del reconocimiento de un patrón, como una imagen. ¿El reconocimiento de una imagen es equivalente al razonamiento lógico? McCulloch y Pitts pensaban que sí, por lo tanto, argumentaron que cualquier patrón visual (incluso uno complejo, borroso e incompleto) podía definirse en su totalidad computando la relación de sus elementos dentro del campo visual. Según su punto de vista, el reconocimiento (o clasificación) de un patrón podía resolverse mediante un algoritmo que computara una gran entrada de datos y la convirtiera en un resultado binario simple (0 o 1), para representar así una simple pregunta binaria: "¿la imagen pertenece a una clase determinada o no?".

Después de breves escaramuzas durante las conferencias Macy, la controversia de la Gestalt se concentró en un acontecimiento específico: el simposio de Hixon sobre "Los mecanismos cerebrales en la conducta", que tuvo lugar en el Instituto Tecnológico de California, en Pasadena, en 1948, y al que asistieron McCulloch, Von Neumann y Köhler, así como los afamados psicólogos Heinrich Klüver y Karl Lashley, entre otros.[7] El simposio de Hixon fue un hito en la historia de la computación: incluso John McCarthy admitió que su acertado término "inteligencia artificial", acuñado para la conferencia de Dartmouth en 1956, se había inspirado en este simposio anterior, al que había asistido como estudiante de matemáticas.[8]

En ese momento, ninguna de las facciones opuestas ganó la controversia. Como observó el físico e historiador de la ciencia Steve Heims: "En cierto sentido, ambos eran románticos, Köhler por su holismo y McCulloch por su mecanicismo".[9] De hecho, fue Von Neumann quien propuso una síntesis de las teorías de la Gestalt y la lógica computacional que acabó haciendo avanzar el campo e inspiró la red neuronal Perceptrón de Rosenblatt, que aplicaba el cálculo estadístico en lugar de la lógica rígida de McCulloch y Pitts. Este capítulo se propone

[7] Para ver todas las actas, consultar Jeffress, *Hixon Symposium*.

[8] Nils John Nilsson, The Quest for Artificial Intelligence, Cambridge: Cambridge University Press, 2009, 52. A McCarthy solo le interesaba la lógica proposicional. En 1979, estaba ansioso por aclarar que "puede decirse que algunas máquinas tan sencillas como los termostatos tienen creencias". John McCarthy, "Ascribing Mental Qualities to Machines", en Philosophical Perspectives in Artificial Intelligence, ed. Martin Ringle, Atlantic Highlands, NJ: Humanities Press, 1979.

[9] Heims, *Cybernetics Group*, 241.

reexaminar la influencia de la teoría de la Gestalt en la historia de la IA, y destacar, en particular, la transformación de las redes neuronales artificiales, que pasaron de ser medios de razonamiento lógico a instrumentos para el reconocimiento de patrones. Entonces, se propone a la controversia de la Gestalt y el simposio de Hixon como una historia alternativa de la IA que no vuelve a debatir la (fallida) empresa de la IA simbólica y sus ambiciones de mecanizar la lógica deductiva, sino que desplaza el foco hacia el linaje del conexionismo y la automatización de la lógica inductiva.

La controversia de la Gestalt es un fósil cognitivo de problemas no resueltos que, en la actualidad, está enterrado en el núcleo de aprendizaje profundo, y su estudio puede ayudarnos a entender la forma lógica y los límites que heredó la IA del siglo XXI.[10] La controversia de la Gestalt también señala un *inconsciente óptico* aún operativo en el aprendizaje automático contemporáneo, ya que la técnica del reconocimiento de patrones se ha extendido de los conjuntos de datos de información visual a los no visuales en las últimas décadas. En un extraño giro del destino, es la mecanización de la percepción como reconocimiento de patrones la que ha llegado a comercializarse como mecanización de la cognición o inteligencia artificial. No obstante, a pesar de sus orígenes en la automatización de la visión, el uso de metáforas antropomórficas de la percepción para describir las operaciones de las redes neuronales artificiales, así como el aprendizaje profundo actual, es engañoso. Como se repite a menudo, la visión artificial no "ve" nada: lo que un algoritmo "ve" —es decir, calcula— son relaciones topológicas entre valores numéricos de una matriz bidimensional. En definitiva, el avance que supusieron las redes neuronales artificiales no fue tanto biomórfico, sino, en este caso, *topológico*. En otras palabras, no se trataba tanto de imitar la estructura de las redes neuronales de la retina del ojo, sino, en esencia, de desarrollar técnicas de información autoorganizada para leer la matriz visual.

[10] La investigadora de Google François Chollet diseñó el Corpus de Abstracción y Razonamiento (ARC, por sus siglas en inglés) como una prueba visual que se considera simple para los seres humanos, pero aún difícil de resolver incluso para los grandes modelos de IA actuales. Sin reconocerlo, el ARC abarca tareas como la completación de imágenes con información limitada que anteriormente habían sido canonizadas por la Escuela de la Gestalt como parte de sus principios *Prägnanz*. Ver François Chollet, "On the Measure of Intelligence", prepublicación (2019), arxiv.org. Ver también Hannes Bajohr, "The Gestalt of AI: Beyond the Holism-Atomism Divide", *Interface Critique* 3, 2021: 13-35.

La invención de las redes neuronales artificiales

Como se esbozó en el capítulo anterior, la invención de las redes neuronales artificiales fue canonizada en un artículo fundamental escrito por McCulloch y Pitts: "A Logical Calculus of the Ideas Immanent in Nervous Activity" [Un cálculo lógico de las ideas inmanentes en la actividad nerviosa] (1943). Lo siguió otro texto clave que fue una respuesta directa a la controversia de la Gestalt: "How We Know Universals" [Cómo conocemos los universales] (1947).[11] Mientras que el primero presentaba la idea de una red de neuronas artificiales para automatizar el razonamiento lógico, el segundo proponía su aplicación a "la percepción de formas auditivas y visuales" (ver fig. 7.1). El pasaje del primero al segundo marca una escisión lógica. Mientras que el artículo de 1943 proponía redes neuronales como *máquinas deductivas* para la lógica proposicional, el de 1947 apuntaba a *máquinas inductivas* para automatizar el reconocimiento de patrones. Vale la pena tener en cuenta que el artículo de 1943 de McCulloch y Pitts no menciona las computadoras porque, en ese entonces, no eran una tecnología establecida.[12]

Para poner en perspectiva la historia de la IA, es importante aclarar en este momento la diferencia entre lógica deductiva e inductiva. Desde la idea de Leibniz de un *calculus ratiocinator*, el proyecto moderno de buscar la inteligencia de las máquinas se basó en el postulado de que la lógica humana puede expresarse mediante la lógica proposicional ("si x, entonces y es verdadero/falso"), que equivale a la lógica booleana (operadores Y, O y NO). Una proposición

[11] Sobre los fundamentos teóricos de McCulloch y Pitts, ver Tara Abraham, "(Physio)logical Circuits: The Intellectual Origins of the McCulloch-Pitts Neural Networks", *Journal of the History of Behavioural Science* 38, N° 1, 2002: 3-25.

[12] En la época de la controversia de la Gestalt, la computadora digital aún era una idea experimental y no una convención técnica que se daba por sentada. Afirmaciones como "el cerebro humano es una computadora" y "una computadora puede pensar" en ese entonces tenían un significado diferente del que tienen en la actualidad. El diseño de la computadora fue, de hecho, resuelto después de que se introdujera la idea de las redes neuronales artificiales. Thomas Haigh y Mark Priestley también observaron que se sobreestima la influencia del modelo de la máquina de Turing sobre el diseño real de las computadoras. Von Neumann fue uno de los primeros en proponer un diseño viable para la máquina de Turing, que desde entonces se conoce como la "arquitectura de Von Neumann". Sin embargo, según Haigh y Mark, Von Neumann sobre todo copió el "lenguaje biológico" de McCulloch y Pitts para describir la computadora EDVAC en 1945. Llamó "órganos" a los componentes principales de la EDVAC y "memoria" a su almacenamiento, y elaboró "una notación abstracta inspirada en las neuronas para representar circuitos informáticos". Ver Thomas Haigh y Mark Priestley, "Von Neumann Thought Turing's Universal Machine Was 'Simple and Neat', but That Didn't Tell Him How to Design a Computer", *Communications of the ACM* 63, N° 1, 2019: 26-32; y John von Neumann, *Theory of Self Reproducing Automata*, Urbana: University of Illinois Press, 1966, 45.

expresada según esta lógica formal puede codificarse fácilmente en un mecanismo compuesto por engranajes giratorios, relés eléctricos o puertas electrónicas, como válvulas o transistores. Si miramos con más detenimiento, este tipo de lógica busca una forma lineal de racionalidad que replica la linealidad del lenguaje escrito y la manipulación de símbolos según las reglas de la *inferencia deductiva*, un abordaje bien ejemplificado por la máquina de Turing y la manera en que ejecuta instrucciones a partir de una cinta unidimensional. La IA simbólica, los sistemas expertos y los motores de inferencia son todos ejemplos de esta tendencia de máquinas deductivas que continuó hasta la década de 1980. Por otro lado, las redes neuronales artificiales —junto con todos los algoritmos de aprendizaje automático— son ejemplos de máquinas inductivas. Mientras la lógica deductiva es la aplicación de una regla, el razonamiento de lo general a lo particular, la lógica inductiva implica razonamiento de lo particular a lo general, creando así reglas de clasificación. El ejemplo canónico es el movimiento que se produce a partir del descubrimiento de que "todo ser humano muere" a la definición de la regla de que "todos los seres humanos son mortales". La oposición entre lógica deductiva e inductiva es clave no solo para entender la controversia de la Gestalt, sino también el surgimiento del aprendizaje automático.

Según el relato de Heims, para prepararse para la ansiada visita del académico de la Gestalt Köhler a las conferencias Macy en Nueva York, Klüver planteó un reto a los científicos allí reunidos: formular una teoría sobre "cómo un autómata percibiría los *gestalten*, o patrones visuales". El reto de Klüver fue aceptado por McCulloch y Pitts, que, con el apoyo financiero de las fundaciones Macy y Rockefeller, buscaron ir más allá de su prueba de 1943, donde una red finita de neuronas modelo simplificadas podía computar cualquier cosa que pudiera expresarse inequívocamente con palabras. Esta vez, el objetivo era desarrollar mecanismos neuronales para funciones cerebrales específicas, como la percepción, preferentemente, con la precisión suficiente para ser probadas de manera experimental.[13]

Como resultado del debate, en 1947, McCulloch y Pitts publicaron el artículo "How We Know Universals: The Perception of Auditory and Visual Forms" [Cómo conocemos los universales: La percepción de formas auditivas y visuales].[14] Comparado con el anterior, escrito en 1943, en este la preocupación no era la computación de proposiciones según una lógica lineal, sino, en cambio,

[13] Heims, *Cybernetics Group*, 224, 231.

[14] Warren McCulloch y Walter Pitts, "How We Know Universals: The Perception of Auditory and Visual Forms", *Bulletin of Mathematical Biophysics* 9, N° 3, 1947: 127-147.

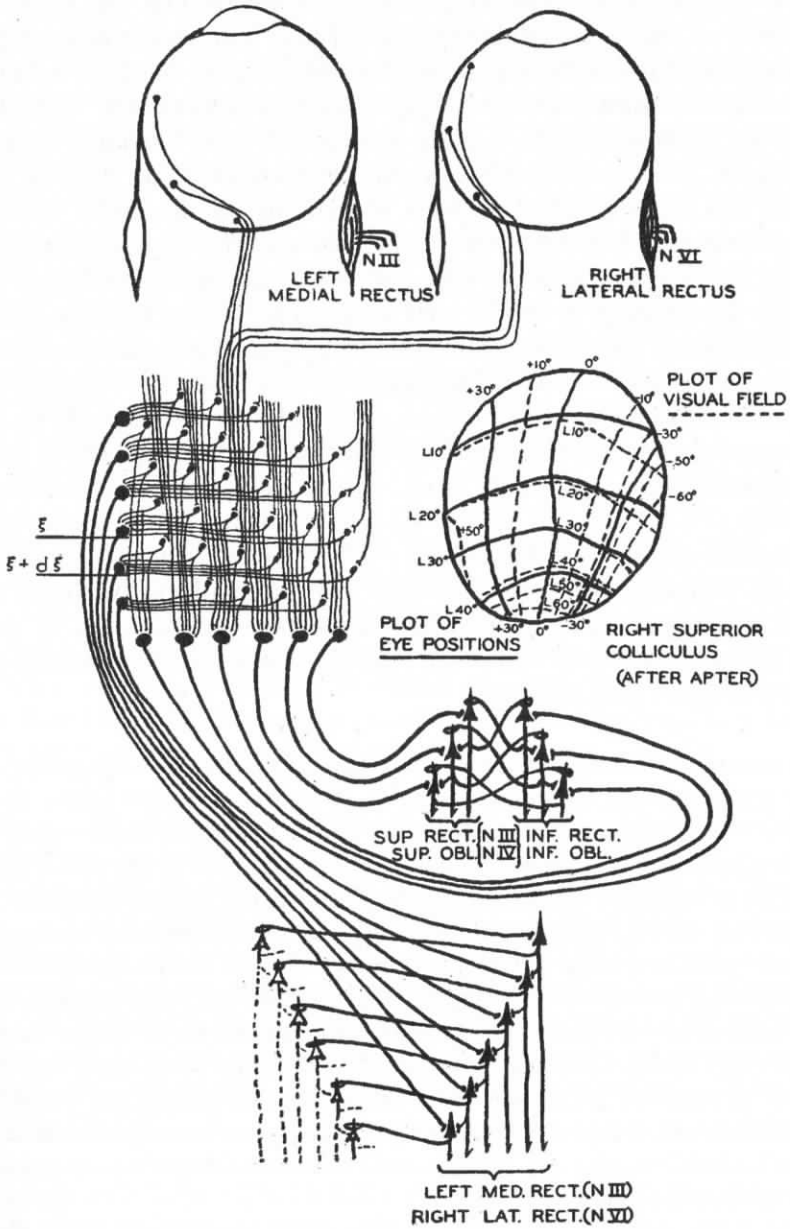


Figura 7.1. Diagrama del colículo superior del mesencéfalo. Warren McCulloch y Walter Pitts, "How We Know Universals: The Perception of Auditory and Visual Forms", *Bulletin of Mathematical Biophysics* 9, N° 3, 1947: 141.

el reconocimiento de un patrón en una matriz bidimensional. McCulloch y Pitts concibieron un "dispositivo", por medio del cual "numerosas redes, representadas por estructuras nerviosas especiales, servían para clasificar información según caracteres comunes útiles".[15] ¿Qué apariencia tenía este "dispositivo"? Dado el desarrollo técnico de fines de la década de 1940, tenía que estar hecho, por ejemplo, de fotorreceptores que pudieran convertir un dato de entrada visual en una imagen digital, es decir, una cuadrícula de pixeles medida por valores numéricos. Sin entrar en detalles sobre el color, supuestamente una cuadrícula como esa tendría que haber sido codificada en dígitos binarios: valor 1 para los pixeles negros, valor 0 para los pixeles blancos. El dispositivo para reconocimiento de patrones ideado por McCulloch y Pitts era una red de computación que resolvería una cuadrícula de números binarios en la salida binaria 1 (verdadero) si se reconocía un patrón, y 0 (falso) si no se reconocía un patrón.

En términos matemáticos, un dispositivo para reconocimiento de patrones es un algoritmo que computa la misma salida para cualquier entrada que un ser humano clasifique como perteneciente al mismo tipo de patrones. Con su dispositivo matemático, McCulloch y Pitts querían desafiar la creencia de la escuela de la Gestalt sobre la naturaleza única de la cognición humana y demostrar que la percepción puede describirse de manera algorítmica y ser automatizada. Su original exposición sobre las redes neuronales artificiales para el reconocimiento de patrones dice:

> Numerosas redes, representadas por estructuras nerviosas especiales, sirven para clasificar información según caracteres comunes útiles. En la visión, detectan la equivalencia de apariciones relacionadas por similitud y congruencia, como las de una misma cosa física vista desde varios lugares. En la audición, reconocen timbre y acorde, independientemente del tono. Las apariciones equivalentes en todos los casos comparten una figura común y definen un grupo de transformaciones que lleva a las equivalencias entre sí, pero preserva la figura invariante. Así, por ejemplo, el grupo de traslaciones desplaza un cuadrado que aparece en un lugar a otros lugares; pero deja invariante la figura del cuadrado. Estas figuras son los *objetos geométricos* de Cartan y Weyl, los *Gestalten* de Wertheimer y Köhler. Buscamos métodos generales para diseñar redes nerviosas que reconozcan figuras de tal manera que produzcan la misma salida para cada entrada perteneciente a la figura.[16]

[15] McCulloch y Pitts, "How We Know Universals", 127.
[16] Ibid.

Según McCulloch y Pitts, sería posible computar los principios del reconocimiento de Gestalt incluso cuando parecieran implicar un profundo poder de abstracción, como en el fenómeno de cierre (cuando, por ejemplo, para volver a usar el ejemplo citado anteriormente, se reconoce un triángulo a partir de líneas incompletas y puntos no conectados). Aunque pueda parecer reduccionista, McCulloch y Pitts propusieron un complejo dimorfismo de dimensiones entre percepción y cognición. Los teóricos de la Gestalt sostenían que la percepción y la cognición existen a lo largo de un isomorfismo continuo: las relaciones espaciales de un objeto son isomorfas con su percepto y, por tanto, con su imagen mental. En cambio, McCulloch y Pitts sugirieron la posibilidad de transformar las relaciones bidimensionales de una imagen en una representación unidimensional —básicamente, un código o proposición lógica—, sin debilitar el contenido o la calidad de la información.

Es un pasaje crucial de la historia del conexionismo y de la IA: McCulloch y Pitts argumentaban que no es necesario el isomorfismo entre una imagen y su representación lógica. La forma de un triángulo, por ejemplo, no necesita memorizarse como un triángulo isomorfo en algunas partes del cerebro, pero puede estar distribuido en diferentes dimensiones (una transformación topológica también denominada "representación interna" en el aprendizaje profundo).[17] Los dos científicos plantearon esta hipótesis contra la escuela de la Gestalt para argumentar que una variedad visual puede computarse mediante una máquina de información lineal como la de Turing:

> Este argumento está dirigido especialmente contra los psicólogos de la Gestalt, que no conciben que una figura pueda ser reconocida sin representarla topográficamente en mosaicos neuronales, y contra los neurólogos de la escuela de Hughlings Jackson, que deben hacerla llegar a alguna neurona especializada cuyo trabajo sea, por ejemplo, la lectura de cuadrados. Ese lenguaje en el que se comunica la información al homúnculo, que se encuentra siempre más allá de cualquier análisis incompleto de los mecanismos sensoriales y antes de cualquier análisis de los motrices, no necesita ser ni es apto para ser creado según el plan de esos lenguajes que los hombres utilizan entre sí.[18]

El paradigma de la percepción y la cognición de McCulloch y Pitts era tan atomista como multidimensional: se basaba en la idea de que, para "percibir"

[17] También por este motivo Kölher acusó al modelo neuronal de McCulloch y Pitts de "dualismo" de la vieja escuela. Jeffress, *Hixon Symposium*, 69.
[18] McCulloch y Pitts, "How We Know Universals".

y "comprender", una red neuronal biológica o artificial puede desmembrar una variedad de dos dimensiones y proyectarla en una configuración de dimensiones distintas de las originales. De manera visionaria, desafiaron el famoso lema de la teoría de la Gestalt: "El todo es más que la suma de sus partes".[19] Buscaban reemplazar la complejidad holística de la teoría de la Gestalt por otro tipo de multidimensionalidad que era puramente matemática.

Lo que el ojo de la rana le dice al cerebro de la rana

En el simposio de Hixon, Köhler fue el único delegado en representación de la escuela de la Gestalt. No participó para defender un poder místico de la mente, sino para presentar mediciones físicas de la actividad cerebral durante la percepción visual, precisamente "registros de corrientes eléctricas que se tomaron de la cabeza de sujetos humanos en condiciones de visión de patrones".[20] El estudio de Köhler demostró que los teóricos de la Gestalt no se oponían a la búsqueda de correlatos neuronales de la percepción; simplemente seguían un método tradicional de comprobación científica en lugar del pensamiento por analogía de los cibernéticos. Como también observó Heims:

> Los psicólogos de la Gestalt no capitulaban ante el misticismo, la reacción política y el vitalismo, todos ellos estaban relacionados con el ansia de completitud. Insistieron en los estudios empíricos de los fenómenos y buscaron leyes fundamentales que describieran las características estructurales de la experiencia, aun apoyando la oposición popular a los análisis atomistas y mecanicistas del mundo.[21]

En concreto, Köhler se basó en el modelo de los campos de fuerza, derivado de la física e inspirado, entre otros, en su íntimo amigo Max Planck, para explicar el fenómeno de la percepción visual que tiene lugar entre el ojo y el cerebro.

En el simposio de Hixon, la *hipótesis física* de los campos de fuerza en la que se basa la percepción Gestalt entró en conflicto con la *analogía computacional* de cerebros como autómatas de estado finito. Köhler atacó el abordaje reduccionista del cerebro planteado por McCulloch argumentando que los impulsos nerviosos, cuando un histólogo o un neurofisiólogo los ven y los miden, no se

[19] Formulado originalmente por Kurt Koffka. Köhler, *Principles of Gestalt Psychology*, New York: Harcourt & Brace, 1935, 176.

[20] Wolfgang Köhler, "Relational Determination in Perception", en Jeffress, *Hixon Symposium*, 200.

[21] Heims, *Cybernetics Group*, 108.

parecen a proposiciones lógicas sino simplemente [...] a impulsos.[22] En contra de la visión cibernética del cerebro como una "disposición de la maquinaria", Köhler propuso la teoría de los campos de fuerza para explicar una continuidad estructural de la forma (isomorfismo) entre los estímulos de la percepción, sus correlatos neuronales y las facultades superiores de cognición (como la facultad del discernimiento):[23]

> La continuidad es un rasgo *estructural* del campo visual. También es un hecho *estructural* que en este campo se aíslen perceptos particulares circunscritos como manchas, figuras y objetos. En ambas características, según hemos descubierto, el aspecto macroscópico de los procesos corticales se asemeja a la experiencia visual. En este sentido, la visión y su correlato cortical son isomórficos.[24]

En contraste con el entusiasmo fanático de los cibernéticos por la semejanza entre los correlatos neuronales y los operadores lógicos, Köhler fue prudente sobre sus propios descubrimientos.[25] Además, contrariamente a lo que el término podría sugerir, el "isomorfismo" de la Gestalt no era una idea monocorde, sino que incluía principios de plasticidad como la autoorganización y la autorreparación en el sentido más amplio de la palabra.[26] La escuela de la Gestalt consideraba que la idea de la mente como un autómata de estado finito era inadecuada para describir estas capacidades superiores de la mente para la síntesis y la abstracción a través de la autoorganización.

En el otro bando, el antigestaltista más virulento era Norbert Wiener, que calificaba al holismo de "cuco pseudocientífico". En consecuencia, Wiener

[22] Ver el comentario de Köhler a McCulloch en Jeffress, *Hixon Symposium*, 66.

[23] Wolfgang Köhler, "Review of *Cybernetics or Control and Communication in the Animal and the Machine* by Norbert Wiener", *Social Research* 18, N° 1, 1951: 127. Sobre el isomorfismo, ver Abraham Luchins y Edith Luchins, "Isomorphism in Gestalt Theory: Comparison of Wertheimer's and Köhler's concepts", *Gestalt Theory* 21, N° 3, 1999: 208-234.

[24] Wolfgang Köhler, *The Place of Value in a World of Facts*, New York: Liveright, 1938, 217. Ver Wolfgang Köhler, *Dynamics in Psychology*, New York: Liveright, 1940.

[25] "Si realmente se demostrara que la visión de patrones es una cuestión de física de la continuidad, entonces nos sentiríamos seriamente tentados a creer que eso también es válido para hechos análogos en otras partes de la psicología. Dado que me doy cuenta de que estamos tratando con un problema importante de la psicofísica en general, me siento inclinado a avanzar lentamente. Es posible que el correlato cortical de la visión de patrones sea ahora accesible a la experimentación. Pero aún no podemos estar seguros de eso". Ver Köhler, "Relational Determination in Perception", 229.

[26] Sobre organicismo y plasticidad, ver Kurt Goldstein, *Der Aufbau des Organismus: Einführung in die Biologie unter besonderer Berücksichtigung der Erfahrungen am kranken Menschen*, Den Haag: Nijhoff, 1934, traducido como *The Organism: A Holistic Approach to Biology Derived from Pathological Data in Man*, New York: American Book Company, 1939.

argumentó que "si un fenómeno solo puede ser comprendido como un todo y no responde en absoluto al análisis, no existe material adecuado para ninguna descripción científica del mismo, ya que el todo nunca está a nuestra disposición".[27] Wiener compartía ideológicamente la visión computacional de la mente, sin ninguna vacilación, con McCulloch y Pitts:

> Es un hecho digno de mención que la mente humana y los sistemas nerviosos animales, de los cuales se sabe que son capaces de realizar el trabajo de un sistema de computación, contienen elementos idóneos para actuar como relés. Estos elementos son las llamadas *neuronas* o células nerviosas.[28]

La idea de las neuronas artificiales y el proyecto de automatizar la percepción Gestalt ya se había debatido en 1948, cuando Wiener publicó *Cybernetics* [Cibernética], que proporcionó la primera recopilación de las teorías sobre la computación digital y la información. En 1951, unos años después del simposio de Hixon, Köhler escribió una dura reseña del libro de Wiener y su capítulo sobre "La Gestalt y los universales", en la cual argumentó que si bien es cierto que las máquinas son mejores que los humanos para calcular, esos cálculos no constituyen pensamiento ni capacidad de discernimiento (*Einsicht*) con respecto a un problema:

> En la relación de los seres humanos con las máquinas de computación, pensar en el sentido estricto del término parece seguir siendo tarea de los primeros. Excelentes ingenieros y matemáticos incorporan en estos instrumentos formas de funcionamiento forzadas mecánicamente que pueden servir como sustitutos fácticamente confiables de ciertas actividades cuantitativas de la mente humana, como la suma y la multiplicación. No es de extrañar que, en cuanto a velocidad, las operaciones sustituidas por las máquinas sean muy superiores a cualquier cosa que puedan lograr los cerebros humanos. Al mismo tiempo, esas operaciones parecen ser genéricamente diferentes de las de un ser humano que se ocupa de un problema matemático [...]. Las máquinas no saben, porque entre sus funciones no hay ninguna que pueda compararse con el discernimiento del sentido de un problema.[29]

[27] Norbert Wiener, "Some Maxims for Biologists and Psychologists" (1950), en *Collected Works with Commentaries*, vol. 4, *Cybernetics, Science, and Society; Ethics, Aesthetics, and Literary Criticism; Book Reviews and Obituaries*, ed. P. Masini, Cambridge, MA: MIT Press, 1985, 454-456.

[28] Norbert Wiener, *Cybernetics: Or Control and Communication in the Animal and the Machine*, Cambridge, MA: MIT Press, 1961 [1948], 120.

[29] Köhler, "Review of *Cybernetics*", 128.

A mediados de la década de 1950, el neurofisiólogo Jerome Lettvin y el biólogo Humberto Maturana invitaron a McCulloch y Pitts a contribuir con sus estudios sobre las neuronas del ojo de la rana. Su conclusión se publicaría en 1959, en el famoso artículo "What the Frog's Eye Tells the Frog's Brain" [Lo que el ojo de la rana le dice al cerebro de la rana], que para muchos le puso el punto final a la controversia de la Gestalt.[30]

Su investigación partía de la simple observación de que el nervio óptico de los animales superiores está compuesto por menos fibras que la retina. Eso sugiere que el estímulo debe sufrir una compresión antes de llegar al cerebro. La cuestión que se plantea es qué ocurre exactamente con el estímulo entre la retina, el nervio óptico y la corteza visual. Los científicos tomaron a la rana como organismo modelo. Midieron los estímulos en el nervio óptico usando un electrodo, mientras le presentaban formas de alto contraste al ojo del animal. De esa manera, registraron cuatro tipos de comportamientos neuronales u "operaciones": "1) detección de contraste sostenido; 2) detección de convexidad neta; 3) detección de bordes móviles; 4) detección de atenuación neta".[31] A modo de ejemplo, consideremos la segunda operación —la detección de convexidad neta— que es quizás la más intuitiva de entender: se trata de la percepción de un objeto pequeño que recorre el campo visual, como un insecto volador, algo crucial para la obtención de alimento y la supervivencia de la rana. Como tal, se lo llamó, de manera coloquial, el "detector de insectos".

En contra de la primacía de las funciones cerebrales de la teoría de la Gestalt, los autores argumentaron que el ojo ya realiza tareas básicas de cognición, como el reconocimiento de patrones, y envía señales al cerebro que ya son *conceptos* bien formados y no solo *perceptos*. Sostenían que el ojo ya emplea el lenguaje de las "abstracciones complejas" en lugar de ser simplemente un medio de sensaciones. Llegaron a la conclusión de que "el ojo le habla al cerebro en un lenguaje ya altamente organizado e interpretado, en lugar de transmitir una copia más o menos precisa de la distribución de la luz en los receptores".[32] Lo que el ojo le envía al cerebro no sería una forma análoga al percepto (que mantendría las proporciones de la *Gestalt*), sino una proposición semántica, una información que interpreta el patrón presente en el percepto. El artículo colectivo también integraba las conclusiones del artículo de McCulloch y Pitts de 1947, incluida la observación de que una imagen puede definirse y "percibirse" lógicamente

[30] J. Y. Lettvin et al., "What the Frog's Eye Tells the Frog's Brain", *Proceedings of the IRE* 47, N° 11, 1959: 1940-1951.

[31] Ibid., 1943.

[32] Ibid., 1950.

mediante el cálculo de las relaciones entre sus elementos de acuerdo con una lógica espacial.

> Al transformar la imagen de un espacio de simples puntos discretos a un espacio congruente en el que cada punto equivalente se describe por la intersección de cualidades particulares en su entorno, podemos entonces dar la imagen en términos de distribuciones de combinaciones de esas cualidades. En resumen, cada punto se ve en contextos definidos. El carácter de esos contextos, genéticamente incorporado, es el *a priori* sintético fisiológico.[33]

Una imagen digital no solo está compuesta por puntos discretos, sino por relaciones espaciales que es posible describir como "distribuciones de combinaciones". En particular, los autores parecen sugerir aquí que no es la red neuronal *per se* la que comprende el "*a priori* sintético fisiológico" del pensamiento, sino más bien la lógica espacial que computa la red neuronal.

A la larga debe ser cuestionado el biomorfismo de las primeras redes neuronales artificiales (en este caso, la imitación de las redes neuronales biológicas). El órgano humano que McCulloch y Pitts investigaron más a menudo e imaginaron como una red de operadores lógicos no fue el cerebro sino el ojo; y, del ojo, sus redes neuronales artificiales heredaron implícitamente una jerarquía específica de comportamientos. En el ensayo de McCulloch y Pitts de 1947, se suponía que la cooperación entre los nodos de la red neuronal artificial resolvía la geometría combinatoria del campo de visión, no la lógica proposicional de un silogismo, como planteaban en su publicación de 1943. En la controversia de la Gestalt, por lo tanto, no encontramos un modelo de cognición para mecanizar, sino más bien varios modelos de percepción, ya que los elementos del campo perceptivo, más que los estados mentales, se representaban en términos computacionales. El desarrollo de las redes neuronales artificiales continuó estudiando principalmente las neuronas del ojo más que las del cerebro: de las ranas de Lettvin a los gatos de David Hubel y Torsten Wiesel (que inspiraron las redes neuronales convolucionales como AlexNet), la historia de la IA conexionista está en deuda con los experimentos con animales y sus órganos de la visión.[34]

[33] Ibid.

[34] D. H. Hubel y T. N. Wiesel, "Receptive Fields of Single Neurones in the Cat's Striate Cortex", *Journal of Physiology* 124, N° 3, 1959: 574-591.

Desde el punto de vista matemático, la controversia de la Gestalt se refería, por un lado, a la transformación de una imagen en un constructo lógico y, por el otro, al hecho de que un constructo lógico del razonamiento humano pudiera compartir los rasgos probabilísticos de la percepción de imágenes.[35] Si leemos entre líneas, la controversia de la Gestalt ya apuntaba hacia una forma lógica que solo surgiría de manera apropiada en el aprendizaje automático del siglo XXI: la idea de una dimensión espacial y estadística de la información más allá de la modalidad lineal de la máquina de Turing. Las puertas lógicas y los campos perceptivos —los conceptos básicos de la cibernética y de la Gestalt, respectivamente— fueron dos ideales polarizados que la evolución de la IA terminó superando y sintetizando en constructos cada vez más abstractos: en la actualidad, la lógica interna del aprendizaje automático se describe, por ejemplo, a través de entidades como vectores multidimensionales, espacios latentes y distribuciones estadísticas. La matriz visual (y, con ella, el plano de la imagen de la iconología moderna) ha evolucionado desde entonces hacia estas formas lógicas avanzadas, hacia vastas ramificaciones de inferencia estadística que aún no comprendemos plenamente.

El lenguaje del cerebro no es el lenguaje de las matemáticas

Como observó el epistemólogo David Bates, el escepticismo de la escuela de la Gestalt sobre el reduccionismo computacional fue, no obstante, recibido por un protagonista central de la cibernética estadounidense: el polímata John von Neumann. Una figura clave del Proyecto Manhattan y un ferviente anticomunista,[36] Von Neumann desempeñó el papel de mediador en la controversia. Al hacerlo, realizó una síntesis de la teoría de la Gestalt y las redes neuronales lógicas y, de esa manera, allanó el terreno a la idea de Rosenblatt de las redes neuronales estadísticas. Mantuvo un gran interés por el análisis matemático de las redes neuronales biológicas sin afirmar que el cerebro fuera una máquina ni que una máquina pudiera simular perfectamente un cerebro. En cambio, argumentó que, considerando la cantidad de unidades (las neuronas de un cerebro en relación con los interruptores de una máquina), la escala

[35] El historiador de la ciencia Peter Galison investigó la relación entre las tradiciones "mimética" y "lógica" en la construcción de imágenes científicas. Ver Peter Galison, *Image and Logic: A Material Culture of Microphysics*, Chicago: University of Chicago Press, 1997.

[36] David Bates, "Creating Insight: Gestalt Theory and the Early Computer", en *Genesis Redux: Essays in the History and Theory of Artificial Life*, ed. Jessica Riskin, Chicago: University of Chicago Press, 2007, 237-259.

de la cognición humana no puede compararse con la computación mecánica: "La cantidad de células nerviosas en el sistema nervioso central humano se ha calculado que asciende a 10 mil millones [...] y nadie ha visto un órgano de conmutación con 10 mil millones de unidades; por lo tanto, estaríamos comparando dos objetos desconocidos".[37] Como ya veremos, Von Neumann, finalmente, no redujo el cerebro a la computadora —lo biológico a lo lógico—, sino que imaginó modelos e implementaciones intermedios para traducir un dominio al otro.

Von Neumann estaba de acuerdo con McCulloch y Pitts en que "cualquier cosa que podamos describir con palabras también es posible hacerlo con el método de las neuronas", pero no estaba de acuerdo en que "cualquier circuito que se diseñe de esta manera se da realmente en la naturaleza".[38] Si bien simpatizaba con el esfuerzo de McCulloch y Pitts por axiomatizar las neuronas biológicas en neuronas formales, también estaba de acuerdo con la escuela de la Gestalt en que la naturaleza sistémica de la percepción de la forma es tal que no puede describirse fácilmente en términos proposicionales y de lógica deductiva, a menos que se haga estallar el tamaño de las descripciones en largas y prolijas secuencias de códigos. Como explica Von Neumann, la lógica aritmética tiene evidentes límites de escala para representar al mundo:

> Supongamos que queremos describir el hecho de que cuando miramos un triángulo nos damos cuenta de que es un triángulo, y nos damos cuenta de si es grande o pequeño. Es relativamente sencillo describir de manera geométrica lo que se quiere decir: un triángulo es un grupo de tres líneas organizadas de una determinada manera. Bueno, muy bien, pero también reconocemos como un triángulo algo cuyos lados están curvados, y una situación en la cual solo los vértices están indicados, y algo cuyo interior está sombreado y el exterior no lo está. Podemos reconocer como un triángulo muchas cosas diferentes, todas ellas tienen alguna indicación de un triángulo en ellas, pero cuantos más detalles tratemos de poner en una descripción de ella, más larga se vuelve la descripción. [Con] respecto a toda la maquinaria visual de interpretar un dibujo, de poner algo en un dibujo, entramos en ámbitos en los cuales, sin duda, no podemos describir en esos términos [lógicos].[39]

[37] Von Neumann, *Theory of Self Reproducing Automata*, 37. Ver también John von Neumann, "The General and Logical Theory of Automata", en Jeffress, *Hixon Symposium*, 3.

[38] Von Neumann, *Theory of Self Reproducing Automata*, 46.

[39] Ibid., 46-7.

En contra de McCulloch y Pitts, Von Neumann sostenía que el cerebro puede reconocer la complejidad de cualquier imagen precisamente por su lógica probabilística. La lógica aritmética, por lo tanto, sería una simplificación y una aproximación al funcionamiento real del cerebro y solo podría captar parcialmente sus características. En consecuencia, Von Neumann definía la lógica aritmética como un metalenguaje ("lenguaje secundario" o "código breve") que es eficiente pero no eficaz para describir completamente el subyacente lenguaje probabilístico del cerebro ("lenguaje primario" o "código completo"). También observó, al igual que Köhler, que el sistema nervioso habla este lenguaje primario usando las propiedades estadísticas de los estímulos ("código completo"), en lugar de marcadores exactos ("código breve").

Dada esta dinámica probabilística, Von Neumann llegó a la conclusión, de manera contraria al sentido común, de que en el sistema nervioso un "deterioro" de la precisión aritmética puede dar lugar, en realidad, a "una mejora de la lógica".[40] Destacó, entre otros, que las redes neuronales biológicas funcionan con una tolerancia de errores que desquiciaría a cualquier máquina computadora determinista. Un solo error en un programa de computadora y toda la máquina se detiene. Sin embargo, esos errores nunca preocupan a los organismos. Por lo tanto, es la misma naturaleza probabilística de los organismos la que los vuelve tolerantes a los fallos y capaces de percibir figuras difusas y complejas sin esfuerzo:

> El hecho de que los organismos naturales tengan una actitud radicalmente diferente ante los errores y se comporten de manera tan distinta cuando se produce un error está quizá relacionado con algunos otros rasgos de los organismos naturales, que no están presentes en nuestros autómatas. La capacidad de un organismo natural para sobrevivir a pesar de una elevada incidencia de errores (que no la poseen nuestros autómatas artificiales) quizás requiera que el autómata tenga una flexibilidad y una capacidad muy elevadas para observarse y reorganizarse. Y eso quizás requiera de una considerable autonomía de las partes. En el sistema nervioso humano existe una alta autonomía de las partes. Esa autonomía de las partes de un sistema tiene un efecto que es observable en el sistema nervioso humano, pero no en los autómatas artificiales.[41]

[40] John von Neumann, *The Computer and the Brain*, Silliman Memorial Lectures, New Haven, CT: Yale University Press, 1958, 80.

[41] Von Neumann, *Theory of Self Reproducing Automata*, 73.

En la actualidad existe un consenso acerca de que las redes neuronales biológicas funcionan a pesar de los errores, fallos y daños, y precisamente también gracias a ellos.[42] Los cibernéticos descubrieron esta idea de la neuroplasticidad en las ciencias cognitivas de la época, en particular en la obra de los neurólogos Karl Lashley (quien también se presentó en el simposio de Hixon) y Kurt Goldstein (quien había emigrado a los Estados Unidos como parte de la diáspora de la escuela de la Gestalt). Lashley probó el efecto de lesiones cerebrales inducidas de manera artificial sobre la memoria de las ratas de laboratorio, mientras que Goldstein estudió la capacidad de los veteranos de la Primera Guerra Mundial para reorganizar sus recuerdos después de lesiones cerebrales reales.[43] Sin embargo, fue Goldstein y no Lashley quien proporcionó un modelo más sistemático de neuroplasticidad. Su teoría sobre la capacidad del cerebro para reorganizarse después de una lesión estaba también muy vinculada con el debate sobre la localización de la memoria. Una tesis clave para un pionero de la neurología holística, Constantin von Monakow, era que la memoria está distribuida y no localizada, y por eso puede recuperarse después de una lesión cerebral (ver capítulo 8). Von Neumann se hizo eco de esas teorías:

> La dificultad principal con el órgano de la memoria es que no parece estar en ningún lugar en particular. Nunca resulta muy sencillo localizar algo en el cerebro, porque tiene una enorme capacidad para reorganizarse. Incluso cuando se localiza una función en una parte determinada, si se quita esa parte, es posible descubrir que el cerebro se reorganizó y reasignó sus responsabilidades, y la función se cumple de nuevo.[44]

Fue esa idea de una memoria distribuida en el cerebro humano la que sugirió la deslocalización de la memoria en las máquinas. Las redes neuronales, con su arquitectura distribuida, eran las candidatas perfectas para lograrlo. Como lo reconoció Rosenblatt en *Neurodynamics* [Neurodinámica], el comentario de

[42] Sobre la influencia de esta idea en la génesis del aprendizaje profundo, ver Yann LeCun *et al.*, "Optimal Brain Damage", en *Neural Information Processing Systems* 2, 1989: 598-605.

[43] El capítulo sobre las "patologías de las máquinas" en *Cybernetics* de Wiener se hace eco de estos debates sobre la neuroplasticidad. Ver también Matteo Pasquinelli (ed.), *Alleys of Your Mind: Augmented Intelligence Trauma*, Lüneburg: Meson Press, Leuphana University, 2015, introducción; David Bates, "Unity, Plasticity, Catastrophe: Order and Pathology in the Cybernetic Era", en *Catastrophe: History and Theory of an Operative Concept*, ed. Andreas Killen and Nitzan Lebovic, Berlin: De Gruyter, 2014, 252; Matteo Pasquinelli, "What an Apparatus Is Not: On the Archeology of the Norm in Foucault, Canguilhem, and Goldstein", *Parrhesia* 22, May, 2015: 79-89.

[44] Von Neumann, *Theory of Self Reproducing Automata*, 49. Ver también *The Computer and the Brain*, 63-68.

Von Neumann sobre la memoria distribuida fue una gran inspiración para el Perceptrón (ver capítulo 9).[45]

En perspectiva, Von Neumann siguió un método diferente de investigación comparado con otros cibernéticos. En contra del platonismo y el intuicionismo, muy populares en ese entonces también en la ingeniería, Von Neumann mantuvo una perspectiva constructivista sobre el lenguaje, la lógica y las matemáticas. Creía que esos conceptos no eran inherentes o innatos, sino más bien productos del desarrollo histórico.

> Es justo darse cuenta de que el lenguaje es, en gran medida, un accidente histórico. Tradicionalmente, los lenguajes humanos básicos se nos han transmitido de diversas maneras, pero su propia multiplicidad demuestra que no hay nada absoluto ni necesario en ellos. Así como lenguajes como el griego o el sánscrito son hechos históricos y no necesidades lógicas absolutas, es razonable suponer que la lógica y las matemáticas son, del mismo modo, formas de expresión históricas y accidentales. Pueden tener variantes esenciales, por ejemplo, pueden existir en formas distintas a las que estamos acostumbrados. De hecho, la naturaleza del sistema nervioso central y de los sistemas de mensajes que transmite indica de manera positiva que esto es así.[46]

Esta relativización histórica de las matemáticas y la lógica es crucial para entender el abordaje de Von Neumann a la teoría computacional de la mente y el proyecto de construir autómatas pensantes. Von Neumann sostenía una postura más sofisticada que el funcionalismo, o la tesis de la *realizabilidad múltiple de la mente*, que sostiene que el mismo modelo operativo de inteligencia puede implementarse en diferentes sustratos formados por neuronas, relés, transistores, etcétera. En cambio, Von Neumann promovió un método de implementación mutua entre el mundo natural y el artificial, es decir, un método de *modelización*.[47] Por supuesto, Von Neumann era partidario de utilizar las computadoras como máquinas modelo para estudiar el cerebro.

No obstante, al final de su vida, en 1956, cuando la universidad de Yale lo invitó a dar las Conferencias Silliman, quiso aclarar este punto sin ambigüedad. Su serie de conferencias "La computadora y el cerebro" [The Computer and the Brain] concluye con el título declarativo "El lenguaje del cerebro no es el

[45] Frank Rosenblatt, *Principles of Neurodynamics: Perceptrons and the Theory of Brain Mechanisms*, reporte, Buffalo, NY: Cornell Aeronautical Laboratory, 1961, 10. Sobre Lashley, ver página 4.

[46] Von Neumann, *The Computer and the Brain*, 82.

[47] John von Neumann, "The General and Logical Theory of Automata", en Jeffress, *Hixon Symposium*, 3.

lenguaje de las matemáticas". En esta serie de conferencias, reconoció el papel clave del "lenguaje secundario" de las matemáticas en la comprensión del "lenguaje primario" del cerebro. Pero, en lugar de reiterar el computacionalismo de McCulloch, Pitts y Wiener, Von Neumann —que no era un romántico— hizo al final una intervención notable: invirtió la relación entre lógica y naturaleza, computadora y cerebro, hasta el punto de sugerir que el estudio de la neurofisiología podría algún día remodelar por completo la lógica. En la introducción a la antología de esas conferencias, poco antes de su muerte, en 1957, Von Neumann escribió, de manera premonitoria: "Sospecho que un estudio matemático más profundo del sistema nervioso [de hecho] podría cambiar la manera en que vemos las matemáticas y la lógica propiamente dichas".[48]

Las reflexiones finales de Von Neumann fueron un reconocimiento de la relación dialéctica de cualquier sistema de pensamiento con la naturaleza y el mundo exterior. Se reconciliaron con los límites de cualquier sistema de formalización y se reconocieron las limitaciones materiales, incluidas las históricas, de las abstracciones tecnológicas y científicas. Estas ideas superaron el reduccionismo habitual de la mentalidad cibernética. Los modelos de mentes y máquinas no tienen por qué coincidir; a menudo funcionan modelizando el mundo en lugar de reducirlo a representaciones fijas. Se recomienda una epistemología que reconozca la flexibilidad y las limitaciones de la modelización y, sin embargo, no es condición suficiente para una filosofía progresista de la mente. Como veremos en el próximo capítulo, de hecho, el economista neoliberal Friedrich Hayek intentó convertir el pensamiento basado en modelos [*model thinking*] en un principio básico del individualismo económico.

[48] Von Neumann, *The Computer and the Brain*, 2.

8. HAYEK Y LA EPISTEMOLOGÍA DEL CONEXIONISMO

> La mente se convierte así para mí en una corriente continua de impulsos, y la importancia de cada una de sus contribuciones está determinada por el lugar que ocupan en el patrón de canales a través de los cuales fluyen dentro del patrón de todos los canales disponibles, con los impulsos aferentes recién llegados, generados por estímulos externos o internos, que simplemente desvían ese flujo en la dirección en la que todo el flujo esté dispuesto a moverse [...]. Me gustaba comparar ese flujo de impulsos neuronales "representativos", que reflejan en gran medida la estructura del mundo en el que vive el sistema nervioso central, con una reserva de capital que se nutre de entradas y da un flujo continuo de salidas, solo que, afortunadamente, la reserva de este capital no puede agotarse.
>
> Friedrich Hayek[1]

> El Homo sapiens tiene que ver con el reconocimiento de patrones [...]. Es tanto un don como una trampa.
>
> William Gibson, *Mundo espejo*

Presentamos al clasificador

No fue un cibernético sino un economista neoliberal quien aportó el tratado más sistemático sobre el conexionismo o, como se lo conocería más tarde, el paradigma de las redes neuronales artificiales.[2] En su libro de 1952, *El orden*

[1] Friedrich Hayek, "The Sensory Order after 25 Years", en *Cognition and the Symbolic Processes*, vol. 2, ed. W. B. Weimer and D. S. Palermo, Hillsdale, NJ: Erlbaum, 1982, 287-293. Originalmente, una conferencia que se dio en 1977.

[2] Donald Hebb introdujo el término "conexionista" en 1949 en su libro *The Organization of Behavior: A Neuropsychological Theory*, New York: Wiley & Sons, 1949. Rosenblatt adoptó el término en 1958 para definir

sensorial, Friedrich Hayek propuso una teoría conexionista de la mente mucho más avanzada que la teoría de la IA simbólica, cuyo nacimiento se celebró, de manera redundante, en 1956 con la aclamada Conferencia de Dartmouth.[3] En *El orden sensorial*, Hayek planteó una síntesis de los principios de la Gestalt y la idea de las redes neuronales de Warren McCulloch y Walter Pitts para describir "el sistema nervioso como un instrumento de clasificación".[4] Llegó a especular sobre la posibilidad de un dispositivo que cumpliera una función similar, describiendo (en la jerga del aprendizaje automático actual) un algoritmo clasificador. En 1958, Frank Rosenblatt describió al Perceptrón (la primera red neuronal artificial operativa para el reconocimiento de patrones) como "conexionista" y reconoció que el trabajo de "Hebb y Hayek" fue "muy sugerente" para el suyo.[5] Mientras que Donald Hebb era neuropsicólogo, famoso por la teoría de las asambleas celulares del cerebro —una doctrina de la neuroplasticidad que está encapsulada en el lema "las neuronas que se activan juntas permanecen conectadas", mencionada en el capítulo 6—, Hayek era economista y estudió la autoorganización de la mente de manera similar, pero para sustentar una creencia política: es decir, el orden espontáneo de los mercados. Sin embargo, la percepción de que Hayek inventó el conexionismo es una simplificación que pasa por alto su deuda con la neurología y la cibernética de esa época. Sería mejor decir que Hayek se robó el reconocimiento de patrones y lo transformó en un principio neoliberal de regulación del mercado.

Hayek empezó a trabajar en su teoría de la mente en 1920, cuando era asistente en el laboratorio del neuropatólogo Constantin von Monakow en Zurich, y continuó desarrollándola a través de una extensa lista de publicaciones a lo largo de su carrera.[6] Aportó una síntesis impresionante de ideas, tomadas de la neurofisiología, la neurología holística, la psicología de la Gestalt, la teoría de los sistemas, el empirocriticismo y la cibernética, aunque utilizó

su teoría sobre las redes neuronales artificiales: Frank Rosenblatt, "The Perceptron: A Probabilistic Model for Information Storage and Organization in the Brain', *Psychological Review* 65, N° 6, 1958.

[3] Friedrich Hayek, *The Sensory Order: An Inquiry into the Foundations of Theoretical Psychology*, Chicago: University of Chicago Press, 1952. El orden sensorial es un desarrollo del manuscrito "Beiträge zur Theorie der Entwicklung des Bewusstseins" ("Contribuciones a la teoría del desarrollo de la conciencia") que Hayek escribió en alemán en 1920.

[4] Hayek, *The Sensory Order*, capítulo 3, 55.

[5] Rosenblatt, "The Perceptron".

[6] Ver Friedrich Hayek, "Scientism and the Study of Society" parte 1, *Economica* 9, N° 35, 1942: 267-291; Friedrich Hayek, "The Theory of Complex Phenomena", en *The Critical Approach to Science and Philosophy: Essays in Honor of Karl R. Popper*, ed. Mario A. Bunge, New York: The Free Press of Glencoe, 1964; Friedrich Hayek, "Rules, Perception and Intelligibility", *Proceedings of the British Academy* 48, 1963: 321-344; Friedrich Hayek, "The Primacy of the Abstract", en *Beyond Reductionism: The Alpbach Symposium*, ed. Arthur Koestler y J. R. Smythies, London: Hutchinson, 1969.

este arsenal de las ciencias cognitivas para hacer que los principios neoliberales parecieran naturales y universales.[7] Un ejemplo llamativo de eso es que Hayek describió la descentralización del conocimiento en el mercado de la misma manera que las teorías de la neuroplasticidad de Constantin von Monakow y Kurt Goldstein describían la descentralización de las funciones cognitivas en el cerebro.

Como ya vimos en el capítulo 6, entre la década de 1940 y la de 1960, la teoría de la autoorganización en los mercados contribuyó a las teorías de la autoorganización en las redes de computación, y viceversa. Sin embargo, debemos decir que la teoría de Hayek sobre el orden espontáneo del mercado formaba parte de un golpe de estado ideológico. Efectivamente, nada parecía menos espontáneo que un orden de mercado dentro de la esfera de influencia de una superpotencia nuclear.[8] Como observamos antes, los historiadores de la ciencia y la tecnología, por lo general, subrayan la influencia de las fuerzas armadas estadounidenses en la financiación del desarrollo de la cibernética y la inteligencia artificial. Sin embargo, debemos reconocer otro frente de la Guerra Fría para completar el cuadro: la formación de doctrinas neoliberales como respuesta al debate sobre el cálculo en el socialismo (descrito más adelante) y las políticas keynesianas.[9] Así como la topología descentralizada de la red militar Arpanet (precursora de Internet) se diseñó como reacción a la amenaza militar soviética, el conexionismo de Hayek se concibió, entre otros estímulos, como respuesta a la planificación centralizada socialista y al keynesianismo.[10] Leer a Hayek a través de esta lente ayuda a entender la influencia de la racionalidad económica sobre los primeros paradigmas de la inteligencia artificial y rastrear la circulación de esas ideas a través de modelos de mentes, mercados y máquinas en los años posteriores a la Segunda Guerra Mundial, pero también registrar la influencia de fuerzas políticas y sociales en la creación de esos modelos. Fue una red de mercado competitiva la que dio forma a las redes neuronales de Hayek, que fueron elevadas a técnicas para el cálculo de precios porque, como confesó Hayek en el epígrafe de este capítulo, fueron concebidas implícitamente como "una reserva de capital que se nutre de entradas y da un flujo continuo de

[7] Al analizar el legado de Hayek en la conceptualización de la información, Philip Mirowski y Edward Nik-Khah observaron que "el lugar de la información en economía se abordó en acaloradas disputas sobre la política y las posibilidades del socialismo". Philip Mirowski y Edward Nik-Khah, *The Knowledge We Have Lost in Information: The History of Information in Modern Economics*, Oxford: Oxford University Press, 2017, 65.

[8] Ver la visita de Hayek a Chile en 1977 y la reunión con el dictador Augusto Pinochet.

[9] Sobre la racionalidad de la Guerra Fría, ver Paul Erickson *et al.*, *How Reason Almost Lost Its Mind: The Strange Career of Cold War Rationality*, Chicago: University of Chicago Press, 2013.

[10] Slava Gerovitch, "InterNyet: Why the Soviet Union Did Not Build a Nationwide Computer Network", *History and Technology* 24, N° 4 (December 2008): 335-50.

salidas".[11] En este sentido, la teoría de Hayek de la mente era apenas una variante del *conexionismo mercantil*.

Este capítulo pretende poner "en su lugar", por así decirlo, el proyecto epistemológico de Hayek, mostrando cómo se utilizó su teoría conexionista de la mente para apuntalar una determinada visión (ideológica) del mercado. Esto requerirá una reconstrucción esquemática del argumento de Hayek, partiendo de su paradigma económico y yendo hacia atrás hasta su teoría de la cognición. Hayek trató de plantear las siguientes líneas de argumentación: (1) que el problema económico tiene que ver con el conocimiento limitado de individuos libres que establecen el precio óptimo de las mercancías basándose en información incompleta; (2) que el conocimiento se adquiere a través del acto de clasificación, o reconocimiento de patrones, es decir, la facultad universal para crear categorías a partir de percepciones que parecen diferentes e incompletas; (3) que la clasificación se da gracias a la autoorganización de las conexiones del cerebro, o redes neuronales, en otras palabras, que el conocimiento no está hecho de proposiciones y representaciones, sino que se da a través de una topología de conexiones para tomar decisiones (clasificar o no algo dentro de una clase); y (4) que la mente es un orden mental dinámico de conexiones que está relacionado, pero no es idéntico al orden externo; según esta lógica, el conocimiento no es una representación rígida, sino un modelo aproximado del mundo, que se reorganiza constantemente. Finalmente, según la intención política de Hayek, el conexionismo y las redes neuronales proporcionan un paradigma relativista para justificar el "individualismo metodológico" del neoliberalismo.[12]

La racionalidad descentralizada y tácita del mercado

En 1945, Hayek participó del famoso debate sobre el cálculo en el socialismo, con el ensayo "El uso del conocimiento en la sociedad" [The Use of Knowledge in Society]. Ludwig von Mises, de la escuela austríaca de economía, había iniciado el debate, argumentando que, en ausencia de precios de los productos como unidad de cuenta, los cálculos económicos racionales serían imposibles bajo la burocracia centralizada de las economías socialistas. Del otro lado del

[11] Hayek, "The Sensory Order after 25 Years".

[12] Ver Francesco Di Iorio, *Cognitive Autonomy and Methodological Individualism: The Interpretative Foundations of Social Life*, Berlin: Springer, 2015; Francesco Di Iorio, "The Sensory Order and the Neurophysiological Basics of Methodological Individualism", en *The Social Science of Hayek's the Sensory Order: Advances in Austrian Economics*, vol. 13, ed. William N. Butos, London: Emerald, 2010.

debate, algunos economistas marxistas como Oskar Lange cuestionaban la importancia de las unidades de cálculo, como el dinero y el tiempo de trabajo en la formación de precios. Hayek coincidía con Mises, su mentor, pero enmarcó el argumento antisocialista de manera diferente: el orden económico era, según afirmaba, una cuestión de conocimiento espontáneo más que una exactitud matemática. Hayek veía la fijación de precios de los productos como un orden espontáneo que surge del conocimiento tácito, es decir, como "un problema de la utilización del conocimiento que no se le da a nadie en su totalidad". Por este motivo, ni las instituciones centralizadas ni los aparatos técnicos de cálculo podían entender e incorporar ese conocimiento de manera eficiente. El famoso párrafo de Hayek sobre la racionalidad descentralizada del mercado dice:

> El carácter peculiar del problema de un orden económico racional está determinado precisamente por el hecho de que el conocimiento de las circunstancias que debemos emplear nunca existe de manera concentrada o integrada, sino únicamente como los fragmentos dispersos de conocimiento incompleto y, con frecuencia, contradictorio que poseen todos los individuos por separado. Por lo tanto, el problema económico de la sociedad no es solo un problema de cómo asignar recursos "dados", si por "dados" se entiende dados a una mente única que resuelve deliberadamente el problema planteado por estos "datos". Es más bien un problema sobre cómo asegurar el mejor uso de los recursos conocidos por cualquiera de los miembros de la sociedad, para fines cuya importancia relativa solo conocen esos individuos. O, para decirlo de manera más breve, es un problema de la utilización del conocimiento que no se le da a nadie en su totalidad.[13]

Philip Mirowski y Edward Nik-Khah creen haber descubierto aquí "el Primer Mandamiento del neoliberalismo. Los mercados no existen para asignar recursos físicos dados, sino que sirven para integrar y difundir algo llamado conocimiento".[14] Curiosamente, la idea de que el conocimiento está distribuido en todo un sistema y no lo posee un único componente en su totalidad no es original de Hayek, sino que se deriva de la teoría de la no localización de las funciones cerebrales de Monakow, con quien, como ya se mencionó, Hayek trabajó como ayudante en 1920. Monakow planteó la hipótesis de que las funciones cognitivas (incluida la memoria) no están delimitadas en una parte

[13] Friedrich Hayek, "The Use of Knowledge in Society", *American Economic Review* 35, N° 4, 1945: 519-30.

[14] Mirowski y Nik-Khah, *The Knowledge*, 63.

específica, sino que están distribuidas en todo el cerebro. Acuñó el término "diásquisis" (del griego "conmocionado") para describir cómo un cerebro lesionado puede recuperar funciones cognitivas a través de la reorganización neuronal.[15] El modelo holístico del cerebro propuesto por Monakow (que en la actualidad se lo llamaría modelo de "neuroplasticidad") fue sistematizado aún más por otro autor que Hayek leía y citaba a menudo, el neurólogo de la Gestalt Kurt Goldstein.[16] Por lo tanto, la idea de Hayek de que el mercado es un lugar de conocimiento distribuido no provino del estudio de fenómenos económicos, sino que primero fue extrapolada de la neurología holística y las primeras teorías de la neuroplasticidad. En *El orden sensorial*, Hayek también se refirió a la idea de la equipotencialidad del cerebro planteada por el neurofisiólogo Karl Lashley, que tiene similitudes con las de Monakow y Goldstein:

> Ciertos procesos mentales que normalmente se basan en impulsos que proceden de determinadas fibras, una vez que estas son destruidas, pueden ser reaprendidos mediante el uso de otras fibras. Ciertas asociaciones pueden producirse eficazmente a través de varios conjuntos alternativos de conexiones, de modo que, si se interrumpe alguna de estas vías, las restantes seguirán siendo capaces de producir el resultado. Se han observado y descrito esos efectos bajo los nombres de "funcionamiento vicario" y "equipotencialidad".[17]

Como sugería Von Neumann, entre otros, la neurología holística influyó no solo en la idea de Hayek del conocimiento distribuido en el mercado, sino también en la arquitectura de la memoria distribuida en las máquinas de computación.[18] En su libro de 1961, *Neurodynamics*, Rosenblatt también reconoció las observaciones de Lashley y Von Neumann sobre la arquitectura distribuida

[15] Walther Riese y Ebbe C. Hoff, "A History of the Doctrine of Cerebral Localization: Sources, Anticipations, and Basic Reasoning", *Journal of the History of Medicine and Allied Sciences* 5, N° 1, 1950: 50-71.

[16] Kurt Goldstein, *The Organism: A Holistic Approach to Biology Derived from Pathological Data in Man*, New York: American Book Company, 1939. Sobre la influencia de Goldstein en la cibernética, ver David Bates, "Creating Insight: Gestalt Theory and the Early Computer", en *Genesis Redux: Essays in the History and Philosophy of Artificial Life* (2007): 237-59. Sobre la influencia de Goldstein en la filosofía francesa, ver Matteo Pasquinelli, "What an Apparatus Is Not: On the Archeology of the Norm in Foucault, Canguilhem, and Goldstein", *Parrhesia* 22 (mayo de 2015).

[17] Hayek, *The Sensory Order*, 148.

[18] "La dificultad principal con el órgano de la memoria es que no parece estar en ningún lugar en particular. Nunca resulta muy sencillo localizar algo en el cerebro, porque tiene una enorme capacidad para reorganizarse. Incluso cuando se localiza una función en una parte determinada, si se quita esa parte, es posible descubrir que el cerebro se reorganizó y reasignó sus responsabilidades, y la función se cumple de nuevo. La flexibilidad del cerebro es muy grande y la localización se vuelve difícil. Sospecho que la función de la memoria está menos localizada que cualquier otra". Von Neumann, *Theory of Self Reproducing Automata*, 49. Ver también von Neumann, *The Computer and the Brain*, 63-8.

del cerebro como una de las inspiraciones principales para la red neuronal Perceptrón.[19]

Junto con la descentralización del conocimiento en su paradigma económico, Hayek realizó otra importante operación de descentralización: la utilización del conocimiento tácito.[20] Hayek se inspiró en gran medida en el artículo de Gilbert Ryle de 1945, "Knowing How and Knowing That" [Saber cómo y saber qué], que defendía el estatus de los conocimientos técnicos y las habilidades frente a las supuestas formas "superiores" de conocimiento consciente y procedimental.[21] Hayek escribe:

> El "saber cómo" consiste en la capacidad de actuar según reglas que podemos descubrir, pero que no necesitamos saber enunciar para obedecerlas [...]. Por lo tanto, las reglas que no podemos enunciar no rigen únicamente nuestras acciones. También rigen nuestras percepciones y, en particular, nuestras percepciones sobre las acciones de otras personas. El niño que habla de manera gramatical sin saber las reglas de la gramática, no solo comprende todos los matices de significado expresados por otros según las reglas de la gramática, sino que también puede ser capaz de corregir un error gramatical en el discurso de los demás.[22]

Lo que reconocemos como conducta intencionada es una conducta que sigue una regla con la cual estamos familiarizados, pero que no necesitamos conocer explícitamente. Del mismo modo, que el acercamiento de otra persona sea amistoso u hostil, que esté jugando a un juego o que quiera vendernos alguna mercancía o que pretenda hacer el amor, reconocemos todo eso sin saber de qué lo reconocemos.[23]

[19] Frank Rosenblatt, *Principles of Neurodynamics: Perceptrons and the Theory of Brain Mechanisms*, report, Buffalo, NY: Cornell Aeronautical Laboratory, 1961, 10. Sobre Lashley: 4. Ver Karl Lashley, "The Relation between Mass Learning and Retention", *Journal of Comparative Neurology* 41, no. 1 (1926): 1-58; Karl Lashley, *Brain Mechanisms and Intelligence*, Chicago: University of Chicago Press, 1929.

[20] El conocimiento tácito se expresa a través de habilidades que son difíciles de verbalizar y transmitir: por ejemplo, andar en bicicleta o tocar un instrumento musical. Ver Michael Polanyi, *Personal Knowledge: Towards a Post-Critical Philosophy*, Chicago: University of Chicago Press, 1958.

[21] Gilbert Ryle, "Knowing How and Knowing That: The Presidential Address", en *Proceedings of the Aristotelian Society*, vol. 46, Aristotelian Society, New York: Wiley, 1945, 1-16. Ver también Hayek, "The Primacy of the Abstract", en Koestler y Smythies, *Beyond Reductionism*.

[22] Friedrich Hayek, "Rules, Perception, and Intelligibility", *Proceedings of the British Academy* 48 (1962), republicado en Friedrich Hayek, *Studies in Philosophy, Politics, and Economics*, London: Routledge, 1967, 44-5.

[23] Hayek, "Rules", 55.

La neurología holística de esa época compartía una postura similar. Por ejemplo, para Goldstein el inconsciente no es el *locus* de los instintos primordiales que impulsan la mente consciente, como ocurría con su predecesor freudiano, sino, más bien, de comportamientos abstractos tan importantes como los conscientes. Según esta idea, el inconsciente es un espacio de reglas en construcción, de abstracciones embrionarias para perfeccionar.[24] Gracias a estos estudios, Hayek pudo declarar que los comportamientos inconscientes también poseen la capacidad de crear hábitos, normas y abstracciones. De esta manera, Mirowski y Nik-Khah comentan que "para Hayek, la racionalidad era en gran medida inconsciente [...]. Aquí, el conocimiento ya no era como la entropía o el polvo de hadas; ahora se parecía a un enorme iceberg sumergido, del que solo se ve una décima parte".[25] Aunque es cautivante, la analogía de la racionalidad sumergida no es una imagen precisa de la postura de Hayek. Invirtiendo la topología habitual de la mente, Hayek sugirió que el conocimiento tácito no es subconsciente, sino más bien "supraconsciente" o "metaconsciente".[26] Subrayó la existencia de reglas metaconscientes que son tan abstractas como las conscientes:

> Aunque es evidente que a menudo no somos conscientes de los procesos mentales porque todavía no han alcanzado el nivel de la conciencia, sino que se desarrollan en lo que son (tanto fisiológica como psicológicamente) niveles inferiores, no hay ninguna razón por la cual el nivel consciente deba ser el nivel superior, y hay muchos motivos que hacen probable que, para ser conscientes, los procesos deban estar guiados por un orden supraconsciente que no puede ser objeto de sus propias representaciones. De esta manera, los acontecimientos mentales podrían ser inconscientes e incomunicables porque proceden de un nivel demasiado alto, así como también porque proceden de un nivel demasiado bajo.[27]

Lo que el análisis de Hayek pasa por alto es que esta racionalidad descentralizada e inconsciente no solo se encuentra en los mercados, sino también en otras formas de organización y cooperación humanas. Por ejemplo, Marx reconocía la división del trabajo en los talleres y en las fábricas como una forma de

[24] Kurt Goldstein y Martin Scheerer, "Abstract and Concrete Behavior: An Experimental Study with Special Tests", *Psychological Monographs* 53, N° 2, 1941. Sin embargo, el modelo de la "actitud abstracta" o el "comportamiento categórico" planteado por Goldstein cambió de manera significativa en la década de 1960.

[25] Mirowski y Nik-Khah, *The Knowledge*, 68-69.

[26] Hayek, "Rules", 61.

[27] Ibid.

racionalidad espontánea e inconsciente.[28] El capital, según Marx, no solo explota a los trabajadores de forma individual, sino que lo hace a través de la cooperación social que se ve aumentada por la división del trabajo y la maquinaria. Como vimos en el capítulo 4, Marx asignó el poder de la división del trabajo a la figura del trabajador colectivo (*Gesamtarbeiter*), que es distinto de la suma de tareas individuales; del mismo modo, Hayek veía el mercado como una forma espontánea de autoorganización que es más que la mera suma de sus intercambios individuales. La diferencia entre los dos es que Marx, siguiendo el ejemplo de Charles Babbage, era consciente de que la racionalidad espontánea del trabajo podía ser captada por el sistema fabril y la innovación tecnológica, mientras que Hayek suponía que el hecho de que la racionalidad del mercado fuera captada por un aparato técnico o institucional sería imposible, y si alguna vez fuera posible, sería antiliberal. Hayek no podía prever que, a principios del siglo siguiente, las redes digitales y los grandes centros de datos, que emplearían las mismas redes neuronales artificiales que discutían los cibernéticos, serían capaces de rastrear y computar los comportamientos sociales y la racionalidad colectiva en tiempo real, inaugurando un régimen altamente eficaz de extractivismo del conocimiento a escala mundial.

La facultad de clasificación, o ¿qué es un patrón?

A lo largo de su carrera, Hayek definió la clasificación como la facultad principal de la mente en sus interacciones con el mundo y en la generación de nuevas ideas (incluidas las "ideas" más cruciales para los economistas: el precio de los productos). En su artículo de 1947, McCulloch y Pitts ya habían teorizado sobre las redes neuronales artificiales para "la percepción de formas auditivas y visuales", pero el libro de Hayek de 1952, *El orden sensorial*, fue el primer tratamiento sistemático del conexionismo y de la clasificación como una facultad general de la mente. Incluso en la actualidad, la descripción de Hayek sobre la clasificación sigue siendo una introducción válida a la definición de algoritmos clasificadores en el aprendizaje automático:

> Los fenómenos de los que nos ocupamos aquí se suelen tratar en psicología bajo el título de "discriminación". El término es un poco engañoso porque sugiere una especie de "reconocimiento" de diferencias físicas entre

[28] Ver Matteo Pasquinelli, "On the Origins of Marx's General Intellect", *Radical Philosophy* 2, N° 6 (Invierno de 2019): 43-56.

> los acontecimientos que discrimina, mientras que nosotros nos ocupamos de un proceso que *crea* las distinciones en cuestión. Puede decirse lo mismo sobre la mayoría de las demás palabras disponibles que podrían usarse, como "ordenar", "diferenciar" o "clasificar". El único término apropiado que está tolerablemente libre de connotaciones engañosas parecería ser "agrupar". Sin embargo, a efectos de la siguiente exposición, será conveniente adoptar el término "clasificar" con sus sustantivos correspondientes "clases" y "clasificación" con un significado técnico especial [...]. Por "clasificación" entenderemos un proceso en el cual cada vez que se produce un determinado acontecimiento recurrente se produce el mismo efecto específico [...]. Todos los acontecimientos diferentes, que siempre que se den produzcan el mismo efecto, se considerarán acontecimientos de la misma clase, y el hecho de que cada uno de ellos produzca el mismo efecto será el único criterio que los convierta en miembros de la misma clase.[29]

Al fragmento citado de *El orden sensorial* le siguen las especulaciones de Hayek sobre la posibilidad de que las máquinas encarnen ese principio de clasificación. Hayek dio ejemplos de máquinas analógicas que, a pesar de su simplicidad, pueden ayudar a explicar la lógica estadística básica de las primeras redes neuronales artificiales, como el Perceptrón de Rosenblatt:

> Podemos concebir una máquina construida con el fin de realizar procesos sencillos de clasificación de este tipo [...]. Por ejemplo, podemos imaginar una máquina que "ordena" pelotas de varios tamaños que se introducen en ella distribuyéndolas entre varios receptáculos diferentes [...]. Otro tipo de máquina que realiza este tipo de clasificación más simple podría concebirse como una forma similar de ordenar las señales individuales que llegan a través de una gran cantidad de cables o tubos. Consideraremos aquí cualquier señal que llegue a través de un cable o tubo concreto como el mismo acontecimiento recurrente que siempre conducirá a la misma acción de la máquina. La máquina también respondería de manera similar a las señales que lleguen a través de algunos tubos o cables diferentes, y cualquiera de estos grupos que respondiera de la misma manera se consideraría un acontecimiento de la misma clase. Una máquina de este tipo actuaría como una central telefónica simplificada en la que cada uno de los cables de entrada estaría conectado permanentemente con, por ejemplo, un timbre particular, de modo que cualquier señal que entrara por cualquiera de estos cables haría sonar ese timbre. Entonces, todos los cables

[29] Hayek, *The Sensory Order*, 48.

> conectados con alguno de esos timbres transmitirían señales pertenecientes a la misma clase. Un ejemplo real de una máquina de este tipo lo proporcionan ciertas máquinas estadísticas para clasificar tarjetas en las que los agujeros perforados representan datos estadísticos.[30]

Esta analogía mecánica ayuda a comprender que, para Hayek, la construcción mental de clases (conceptos, categorías, patrones, precios, etc.) no es la mera agrupación de percepciones y acontecimientos mentales que parecen similares. Hayek afirmaba que la mente humana define clases no solo reconociendo similitudes, sino a menudo *estableciendo* esas similitudes (también entre elementos arbitrarios). Eso significa que, para Hayek (como para los cibernéticos), el establecimiento de una clase es un gesto pragmático más que abstracto, parecido a la adquisición de un hábito individual o una convención social por medio de la repetición. Para Hayek, los distintos acontecimientos perceptivos se reconocen como parte de la misma clase siempre que desencadenen, en todas sus instancias, el mismo efecto en el sistema nervioso o como respuesta motora: es decir, el mismo patrón perceptivo debe producir la misma idea consciente y/o el mismo patrón motor.

Dentro del concepto de clase, Hayek incluía categorías estéticas y perceptivas como Gestalt y patrones, pero también categorías políticas y éticas como hábitos y normas. La teoría de la Gestalt había ejercido una profunda influencia sobre Hayek, hasta el punto de que su marco teórico puede considerarse la traducción de los principios de la Gestalt al ámbito económico y social.[31] En la literatura y la ciencia alemanas, la idea de Gestalt (o configuración perceptiva) había desempeñado un papel central desde el siglo XVIII, desde Goethe hasta Mach, antes de ser canonizado por la psicología de la percepción de escuela de la Gestalt. Como ya vimos en el capítulo anterior, en el simposio de Hixon de 1948, los cibernéticos cuestionaron la percepción Gestalt como una facultad única del ser humano y abogaron por su mecanización mediante técnicas como las redes neuronales artificiales para el reconocimiento de patrones, propuestas por McCulloch y Pitts. De hecho, el término inglés "*pattern*" [patrón], más técnico, poco a poco reemplazó la palabra alemana *Gestalt*, que fue importada a los Estados Unidos por la diáspora de académicos que huyeron del nazismo.[32]

[30] Ibid.

[31] Ver también Nicolò De Vecchi, "The Place of Gestalt Psychology in the Making of Hayek's Thought", *History of Political Economy* 35, N° 1, 2003: 135-62.

[32] Dentro de la tradición inglesa, Hayek mencionó a N. R. Hanson, Patterns of Discovery, Cambridge: Cambridge University Press, 1958; G. H. Hardy, *Mathematician's Apology*, Cambridge: Cambridge University Press, 1941, 14: "un matemático, como un pintor o un poeta, es un creador de patrones".

Sin embargo, fue gracias a la teoría de la Gestalt y no la cibernética que Hayek pudo extender las definiciones de clase y patrón al ámbito económico. Ya en *El orden sensorial* amplió la comprensión de patrón más allá de la esfera visual y, al hacerlo, abarcó, respectivamente, "patrones dentro del cerebro", "patrones topológicos", "patrones de movimientos", "patrones temporales", "patrones de comportamiento", "patrones de respuestas motoras", "patrones de actitudes o disposiciones", "patrones de impulsos nerviosos", etcétera. Desarrolló un amplio repertorio del concepto de patrón que incluía formulario, plantilla, *Schablone*, molde, esquema, abstracción, norma, hábito, disposición, arreglo, regla e inferencia. Sin embargo, fue primero con "La teoría de los fenómenos complejos" (1961) que Hayek empezó a usar el acertado nombre de "reconocimiento de patrones" para definir la clasificación.[33] Quizás los párrafos más visionarios de Hayek sean aquellos en los que las ecuaciones matemáticas describen patrones multidimensionales (que es, en realidad, lo que computan las ecuaciones de las redes neuronales artificiales con cálculo diferencial).[34] Por ejemplo, escribe:

> Muchos de los patrones de la naturaleza podemos descubrirlos solo *después* de construirlos en nuestra mente. La construcción sistemática de esos nuevos patrones es incumbencia de las matemáticas. El papel que desempeña la geometría en este sentido con respecto a algunos patrones visuales no es más que el ejemplo más conocido. La gran fortaleza de las matemáticas es que nos permiten describir patrones abstractos que no pueden percibirse por medio de los sentidos y enunciar las propiedades comunes de jerarquías o clases de patrones de un carácter altamente abstracto. Cada ecuación algebraica o conjunto de esas ecuaciones define en este sentido una clase de patrones, particularizándose la manifestación individual de esta clase de patrones a medida que sustituimos las variables por valores definidos.[35]

Al igual que otros filósofos modernos, Hayek no hizo distinción entre la habilidad de inventar una clase y cambiar el comportamiento: la constitución de hábitos y normas sigue la misma lógica que la constitución de ideas. De este

[33] Friedrich Hayek, "The Theory of Complex Phenomena", en *The Critical Approach and Philosophy: Essays in Honor of K. R. Popper*, ed. M. Bunge, New York: The Free Press, 1964. El término "reconocimiento de patrones" se popularizó en Oliver G. Selfridge y Ulric Neisser, "Pattern Recognition by Machine", *Scientific American* 203, N° 2, 1960: 60-9.

[34] Más tarde, Hayek escribió sobre "patrones en un espacio multidimensional". Hayek, "Rules", 53.

[35] Hayek, "Theory of Complex Phenomena".

modo, Hayek extendió la facultad de construir clases y patrones a la praxis y los comportamientos sociales:

> Las personas se comportan de la misma manera con los objetos, no porque estos sean idénticos en un sentido físico, sino porque aprendieron a clasificarlos como pertenecientes al mismo grupo, porque pueden darles el mismo uso o esperar de ellos lo que para las personas en cuestión es un efecto equivalente.[36]

Sin embargo, lo que es crucial para cualquier epistemología no es la definición de conocimiento *per se*, sino la capacidad para inventarla. ¿De qué manera una mente inventa nuevas ideas? Hayek no solo tuvo que ofrecer una definición de clasificación o reconocimiento de patrones, sino también tuvo que aclarar cómo se creaban nuevas clases y patrones. Para Hayek, los seres humanos hacen y deshacen continuamente clases y patrones en sus actividades cotidianas. Específicamente, la disrupción de las clases tradicionales y familiares a través de las cuales se percibe la realidad y la reconstitución de otras nuevas dentro de constelaciones inesperadas debería considerarse el *modus operandi* de la ciencia (contra el cientificismo y la "mentalidad ingenieril"):[37]

> La idea de que la ciencia rompe y reemplaza el sistema de clasificación que representan nuestras cualidades sensoriales es menos conocido, pero eso es precisamente lo que hace la ciencia [...]. Este proceso de reclasificación de "objetos" que nuestros sentidos ya habían clasificado de una manera, de sustitución de las cualidades "secundarias" en que nuestros sentidos ordenan los estímulos externos por una nueva clasificación basada en relaciones conscientemente establecidas entre clases de acontecimientos es, quizás, el aspecto más característico del procedimiento de las ciencias naturales. Toda la historia de la ciencia moderna demuestra ser un proceso de emancipación progresiva de la clasificación innata de los estímulos externos hasta que, finalmente, desaparecen por completo.[38]

Dada la síntesis entre psicología, matemáticas, cibernética, sociología y filosofía de la ciencia que presenta su teoría del conexionismo, Hayek puede definirse realmente como el economista del reconocimiento de patrones o, mejor dicho,

[36] Hayek, "Scientism and the Study of Society", 277.

[37] Ibid., 269.

[38] Ibid., 271-272.

como el economista que convirtió el reconocimiento de patrones en un principio de mercado del neoliberalismo.

Redes neuronales como modelo de la mente

¿Cómo se asocia un conjunto de estímulos diferentes con la misma clase, es decir, cómo se reconoce como un patrón recurrente? ¿Cuál es el proceso cerebral que posibilita la clasificación? El conexionismo de Hayek brindó una explicación empírica para la relación entre percepción y cognición. Influido por la idea de las redes neuronales de McCulloch y Pitts, Hayek simplificó la cognición como un simple acto de decisión (más que de intuición, o *Einsicht*, como la escuela de la Gestalt).[39] En el modelo de McCulloch y Pitts, una estructura de capas progresivas de nodos (formada por múltiples neuronas o interruptores) filtra una gran cantidad de información de entrada en una sola salida binaria (una sola neurona o interruptor) que decide si el grupo de estímulos de entrada pertenece o no a una clase determinada. La solución es muy elegante: un nodo computa una gran entrada en una simple salida binaria para indicar "sí" o "no". Al igual que en la modalidad del aprendizaje automático supervisado, el nodo final se asigna a una clase determinada mediante una convención (por ejemplo, la etiqueta "manzana"). Se dice que el modelo no es isomórfico, es decir, que ninguna de sus partes se parece al conocimiento que interpreta: no hay ninguna zona localizada de la red que memorice, por ejemplo, la forma general de la manzana en sus proporciones reconocibles.[40] La clasificación correcta de los estímulos depende del comportamiento general de la estructura de computación.

Sin embargo, el conexionismo de Hayek no abogó por una teoría computacional de la mente. No sería errado llamar a su teoría *conexionismo gestáltico* para distinguirla del *conexionismo lógico* de McCulloch y Pitts y del *conexionismo estadístico* de Rosenblatt. Hayek argumentaba que la mente (que, en su opinión, era un orden mental, una red autoorganizada de entidades como las neuronas) solo puede proporcionar un *modelo* más que una representación del mundo (un orden sensorial, hecho de relaciones entre cualidades sensoriales subjetivas). Hayek escribió que "lo que llamamos mente es así un orden particular de un

[39] Sobre el concepto de percepción [*insight*] en la escuela de la Gestalt, ver David Bates, "Creating Insight: Gestalt Theory and the Early Computer", en *Genesis Redux: Essays in the History and Philosophy of Artificial Life*, ed. Jessica Riskin, Chicago: University of Chicago Press, 2007, 237-260.

[40] Sobre la saga del pensamiento basado en modelos [*model thinking*] en la historia de la IA, ver también Jean-Pierre Dupuy, *The Mechanization of the Mind: On the Origins of Cognitive Science*, Cambridge, MA: MIT Press, 2000.

conjunto de acontecimientos que tienen lugar en un organismo y que, de alguna manera, están relacionados con el orden físico de los acontecimientos del entorno, pero no son idénticos a él".[41] En 1945, los cibernéticos Arturo Rosenblueth y Norbert Wiener plantearon la creación de modelos en términos similares:

> Los modelos parciales, aunque sean imperfectos, son el único medio que la ciencia desarrolló para entender el universo. Esta afirmación no implica una actitud derrotista, sino el reconocimiento de que la herramienta principal de la ciencia es la mente humana y que la mente humana es finita.[42]

La construcción de un modelo es la implementación de un entorno determinado dentro de los parámetros y restricciones internas de otro entorno, aunque en el proceso de traducción algunos elementos se dispersan, aproximan y distorsionan. Hayek también reconocía que un orden mental es una interpretación parcial, a veces falsa, de la realidad:

> Hemos visto que la clasificación de los estímulos realizada por nuestros sentidos estará basada en un sistema de conexiones adquiridas que reproducen, de manera parcial e imperfecta, las relaciones existentes entre los correspondientes estímulos físicos. El "modelo" del mundo físico que se forma de esta manera solo nos dará una reproducción muy distorsionada de las relaciones existentes en ese mundo; y la clasificación de esos acontecimientos realizada por nuestros sentidos a menudo demostrará ser falsa, es decir, creará expectativas que no se verán confirmadas por los acontecimientos.[43]

Es revelador, después de Babbage, encontrar a otro economista político en un momento decisivo de la historia de la informática: Babbage proponía la computación como la automatización del trabajo mental en el proceso industrial, mientras que Hayek mantenía que la computación de las transacciones de mercado sería imposible y, en cualquier caso, perjudicial para la propia autonomía del mercado. La diferencia teórica y la brecha histórica entre Babbage y Hayek refleja la diferencia entre la IA simbólica y la conexionista, entre una idea de cognición basada en la representación y otra basada en la modelización. El proyecto de Babbage de automatizar el trabajo mental como el cálculo manual

[41] Hayek, *The Sensory Order*, 16.

[42] Arturo Rosenblueth y Norbert Wiener, "The Role of Models in Science", *Philosophy of Science* 12, N° 4, 1945: 316-21.

[43] Hayek, *The Sensory Order*, 145.

se vio plasmado en la máquina de Turing y los algoritmos deductivos de la IA simbólica; la manipulación de números se convirtió en la manipulación de símbolos, sin dejar margen para la interpretación del significado y la capacidad de adaptación. Mientras que la computación de Babbage nació siguiendo un afán de exactitud para corregir errores en las tablas logarítmicas, en el conexionismo (incluida la variante de Hayek) se encuentra una epistemología flexible y adaptativa. Después de Hayek y Von Neumann, Rosenblatt subrayó que su red neuronal Perceptrón era una simplificación y una exageración de rasgos específicos de la mente humana y que no pretendía ser el paradigma definitivo de la inteligencia.[44]

El mercado como modelo de las redes neuronales

Además de la teoría del reconocimiento de patrones, se le reconoce a Hayek haber usado, *ante litteram*, una definición técnica de información. En su ensayo de 1945, "El uso del conocimiento en la sociedad", anticipó la teoría matemática de la comunicación planteada por Shannon en 1948, ofreciendo una definición operativa de información como unidades de comunicación, más precisamente, en este caso, como "señales de precio". Hayek es reconocido también por describir el mercado como una computadora, o, en el lenguaje de la época, como una especie de red telegráfica distribuida, "una especie de maquinaria para registrar el cambio, o un sistema de telecomunicaciones" (hay que señalar que en esa época la computadora no era aún una tecnología común):

> Debemos considerar el sistema de precios como un mecanismo para comunicar información si queremos entender su función real, una función que, por supuesto, se cumple con menor perfección a medida que los precios se vuelven más rígidos [...]. El hecho más significativo sobre este sistema es la economía del conocimiento con la cual funciona, o lo poco que necesitan saber los participantes individuales para poder actuar correctamente. De forma abreviada, mediante una especie de símbolo, solo se transmite la información más esencial y solo se transmite a los interesados. Es más que una metáfora para describir el sistema de precios como una especie de maquinaria para registrar el cambio, o un sistema de telecomunicaciones que permite a productores individuales observar solo el movimiento de unos pocos indicadores, como un ingeniero observaría las agujas de unos cuantos diales, para ajustar sus actividades a cambios de los que nunca sabrán más de lo que se refleja en el movimiento de los precios.[45]

Contrariamente a la arrogancia de los cibernéticos con respecto a la automatización total, Hayek afirmaba que la magnitud de la complejidad del mercado superaría los límites de *hardware* de cualquier sistema de cálculo y de ecuaciones manejables. Dos décadas después, desde el otro lado del debate sobre el cálculo en el socialismo, el economista Oskar Lange rebatió que la innovación había superado esas limitaciones, abogando por el uso de nuevas y potentes computadoras para resolver los problemas matemáticos de la economía: "¿Y cuál es el problema?", le replicó Lange a Hayek. "Pongamos ecuaciones simultáneas en una computadora electrónica y obtendremos la solución en menos de un segundo".[46] Lange entendía la computadora como un nuevo instrumento de conocimiento que inaugura una perspectiva diferente sobre la economía, ya que "la computadora cumple una función que el mercado nunca fue capaz de desempeñar".[47] De manera implícita, Lange insinuaba el uso de la computadora como un mediador técnico entre los problemas de la espontaneidad del mercado y los de la planificación centralizada. Esta visión particular de Lange fue citada por la retórica aceleracionista de izquierda para fomentar genéricamente un uso público de la planificación algorítmica en la era de los datos masivos contra el uso privado de dicha planificación por parte de las corporaciones; Fredric Jameson, por ejemplo, abogó por la nacionalización del poder informático de gigantes logísticos mundiales como Walmart y Amazon.[48] Pero ¿a qué tipo concreto de técnica informática se refería Lange? A menudo olvidada, la siguiente parte de su argumentación no menciona la computación determinista, sino algo que se asemeja al proceso de entrenamiento de las redes neuronales artificiales:

[44] "Los perceptrones no pretenden servir como copias detalladas de ningún sistema nervioso real. Son redes simplificadas, diseñadas para permitir el estudio de relaciones legítimas entre la organización de una red nerviosa, la organización de su entorno y las habilidades 'psicológicas' de las que es capaz la red. En realidad, los perceptrones podrían corresponder a partes de redes más extensas en sistemas biológicos; en este caso, los resultados obtenidos serán directamente aplicables. Lo más probable es que representen simplificaciones extremas del sistema nervioso central, en las que algunas propiedades se exageran y otras se suprimen". Rosenblatt, *Neurodynamics*, 28.

[45] Friedrich Hayek, "The Use of Knowledge in Society", *American Economic Review* 35, N° 4, 1945: 519-30.

[46] Oskar Lange, "The Computer and the Market", en *Socialism, Capitalism, and Economic Growth: Essays Presented to Maurice Dobb*, ed. C. H. Feinstein, Cambridge: Cambridge University Press, 1967, 158-61.

[47] Ibid., 161.

[48] Leigh Phillips y Michal Rozworski, *The People's Republic of Walmart: How the World's Biggest Corporations Are Laying the Foundation for Socialism*, London: Verso, 2019. Ver también Fredric Jameson, *Archaeologies of the Future: The Desire Called Utopia and Other Science Fictions*, London: Verso, 2005, 153n22.

> El mecanismo del mercado y el procedimiento de prueba y error propuesto en mi ensayo realmente desempeñaron el papel de un dispositivo informático para resolver un sistema de ecuaciones simultáneas. Se llegó a la solución por medio de un proceso de iteración que se supuso convergente. Las iteraciones se basaron en un principio de retroalimentación para eliminar gradualmente las desviaciones del equilibrio. Se previó que el proceso funcionaría como un servomecanismo que, mediante una acción de retroalimentación, elimina automáticamente las perturbaciones [...]. Se puede implementar el mismo proceso con una máquina electrónica analógica que simula el proceso de iteración implícito en los *tátonnements* [aproximaciones incrementales] del mecanismo de mercado. Este dispositivo electrónico analógico (servomecanismo) simula el funcionamiento del mercado. Sin embargo, esta afirmación puede invertirse: el mercado simula la computadora electrónica analógica. En otras palabras, el mercado podría considerarse como una computadora *sui generis* que sirve para resolver un sistema de ecuaciones simultáneas. Funciona como una máquina analógica: un servomecanismo basado en el principio de retroalimentación. Puede considerarse al mercado como uno de los dispositivos históricos más antiguos para resolver ecuaciones simultáneas. Lo interesante es que el mecanismo de resolución no funciona mediante un proceso físico, sino social. Y resulta que también los procesos sociales pueden servir de base para el funcionamiento de los dispositivos de retroalimentación que conducen a la solución de ecuaciones por iteración.[49]

Siguiendo la tradición del conexionismo de Hayek, Lange describió el mercado como una máquina social que resuelve ecuaciones simultáneas mediante aproximaciones incrementales (*tátonnements*), de manera similar a un algoritmo de aprendizaje que cambia sus parámetros con ajustes de prueba y error. El ejemplo de Lange de las técnicas de aproximación para resolver ecuaciones de mercado seguramente no se hace eco de las economías socialistas centralizadas, sino, en la actualidad, de los algoritmos de entrenamiento de las redes neuronales artificiales (como la retropropagación y el descenso del gradiente, entre otros). Como mostraron los dos párrafos de Hayek y Lange, en los debates económicos del siglo xx, los modelos del mercado y la computación intercambiaron a veces sus posiciones, pero lo que realmente estaba en juego seguía siendo la acción y la autonomía de los procesos sociales subyacentes.

[49] Lange, "The Computer and the Market", 159.

Hacia una epistemología política de las redes neuronales

La confesión de Hayek acerca de que imaginaba la mente conexionista como una reserva de capital en un intercambio continuo con el mercado parece confirmar, en la era de la IA, la seductora teoría de la "abstracción real" planteada por el académico marxista Alfred Sohn-Rethel. En su libro *Trabajo intelectual y trabajo manual* [Intellectual and Manual Labour] de 1970, Sohn-Rethel esbozó una "crítica de la epistemología" que proponía la forma-mercancía como el origen del propio pensamiento abstracto. Sohn-Rethel argumentaba que el intercambio de mercancías en la antigüedad mediado por el dinero habría sido la primera instancia de pensamiento abstracto como la filosofía, ya que el dinero, como la filosofía, instituyó un principio de equivalencia abstracta entre cosas materiales. Una mercancía que se intercambia con otra es, para Sohn-Rethel, un ejemplo paradigmático de la "abstracción real", es decir, una abstracción expresada por medio de una cosa. Eso sucede incluso cuando el acto de intercambio es inconsciente (aquí tanto Marx como Hayek estarían de acuerdo). De esta manera, la abstracción del intercambio mercantil precedió e influyó en la evolución de las abstracciones "conscientes" filosóficas y científicas.

Sohn-Rethel estaba convencido de que las ideas generales de la filosofía y las matemáticas analíticas surgieron, desde el punto de vista histórico, cuando la primera moneda acuñada (hecha de *electro*, una aleación natural de oro y plata que abundaba en Asia Menor) empezó a circular como un equivalente estable en las antiguas colonias griegas.[50] Según esta narrativa, una vez que el dinero se liberó del control del déspota, su forma numérica galvanizó la filosofía como la primera forma de abstracción secular (la religión y la mitología ya eran regímenes de abstracción en funcionamiento). Algunas generaciones después de que las monedas de *electro* entraran en circulación e impulsaran el comercio, las colonias griegas fueron testigos de la primera generación de los filósofos canónicos occidentales, que incluía a Tales, Anaximandro y Anaxímenes. Sohn-Rethel argumentó que los conceptos de identidad, sustancia, divisibilidad e infinitud, típicos de los filósofos presocráticos, reflejaba las mismas propiedades que debían medirse en el nuevo medio metálico del comercio.

[50] Marc Shell notó la coincidencia irónica que encierra la expresión "dinero electrónico" que pasa a desmaterializar por completo la valiosa sustancia original. Ver Marc Shell, *Money, Language, and Thought: Literary and Philosophical Economies from the Medieval to the Modern Era*, Berkeley: University of California Press, 1982.

Sin embargo, para él, el pensamiento secular nació como una reacción consciente y crítica a los males que el dinero acarreaba a la sociedad griega.

Reducir la génesis de las formas simbólicas únicamente al equivalente monetario general puede dar lugar con demasiada facilidad a interpretaciones fatalistas de la influencia perniciosa del capitalismo en el orden mental y crear un estado de cosas en el que sería difícil, o imposible, pensar fuera de la lógica del capital. En su descripción del surgimiento de las herramientas conceptuales, Sohn-Rethel destacó solo la influencia de la esfera de la circulación (intercambio mercantil) y, de este modo, minimizó la esfera de la producción (la división social del trabajo). Al hacerlo, pasó por alto la actividad de reflexión del trabajo a través de las herramientas y el lenguaje, que, según otras epistemologías materialistas (incluidas las de Jean Piaget y Peter Damerow) dieron origen a las abstracciones matemáticas mucho antes del surgimiento del intercambio mercantil.[51] En otras palabras, la abstracción real de la división social del trabajo es anterior a la abstracción real del intercambio monetario y el trabajo asalariado: el pensamiento abstracto existía en sociedades donde no circulaba el dinero, pero se imponía la división del trabajo y, en particular, la esclavitud. Hayek se habría sentido cómodo al ver la disciplina de la filosofía como un espejo de las abstracciones del mercado sin ninguna referencia a la autonomía potencial del trabajo y la fabricación de herramientas. Entonces, si el sofisticado conexionismo de Hayek no es más que una versión sublimada de la "racionalidad del mercado", ¿cómo sería una epistemología alternativa de las redes neuronales que no se hiciera eco de la mente neoliberal?

En los *Grundrisse*, Marx propuso una crítica a la epistemología de Hegel que también puede extenderse a la epistemología mercantil de Hayek. En la introducción a esa obra (escrita en 1857, una década antes que *El capital*), Marx describió la dialéctica de las ideas abstractas y concretas como "el método de la economía política", sintetizando así el idealismo alemán y la economía política británica. Cuestionando las categorías dadas del lenguaje cotidiano, como proponía el propio Hegel en la *Fenomenología del espíritu*, Marx subrayó que una expresión familiar como "trabajo" es el resultado de la larga combinación de diferentes abstracciones y no un concepto simple y originario del que deba partir la reflexión.[52] Según Marx, el "método científicamente correcto" empieza descomponiendo una idea (*Vorstellung*) en conceptos más simples (*Begriff*), y

[51] Sobre un panorama general de las epistemologías de Jean Piaget y Peter Damerow, ver Jürgen Renn, *The Evolution of Knowledge: Rethinking Science for the Anthropocene*, Princeton, NJ: Princeton University Press, 2020.

[52] Karl Marx, *Grundrisse: Foundations of the Critique of Political Economy*, trad. Martin Nicolaus, London: Penguin, 1993, 101.

después, a partir de esos conceptos simples, pasa a recomponer el todo "como una totalidad con múltiples determinaciones y relaciones".[53] La descripción de Hayek del método científico como la capacidad de hacer y deshacer abstracciones (clases, patrones, etc.) a través de las cuales se percibe la realidad, no parece tan diferente de la de Marx, aunque sus extrapolaciones políticas obviamente son divergentes. Para Hayek, la creación de ideas nuevas es un asunto subjetivo, un ejercicio de la libertad individual, mientras que, para Marx, está sujeta a la influencia de las relaciones sociales de producción y, a menudo, es orgánica a la lógica del capital. Marx tomaba el ejemplo del trabajo, que parece ser una categoría vieja, conocida y sencilla, que el capitalismo moderno transformó en una abstracción. Según Marx, en realidad, el capitalismo industrial surgió gracias a la imposición del "trabajo abstracto", es decir, trabajo indiferente a la especificidad del "trabajo concreto", trabajo que se transforma en una mercancía, en un equivalente general de trabajo que cualquier trabajador puede realizar.[54] A diferencia del trabajo concreto preindustrial, el trabajo abstracto se mide en unidades de tiempo abstractas, y a los trabajadores se les paga de manera proporcional a esas unidades.[55] Históricamente, la clase obrera en el sentido moderno se constituyó, como un nuevo sujeto político, por la imposición del equivalente general del trabajo abstracto durante la era industrial.[56]

A diferencia de Hayek, Marx cuestionó la genealogía política de las categorías del pensamiento económico. Para él, las categorías del pensamiento —específicamente la del trabajo— no son neutras y son, en cambio, intrínsecas a la lógica capitalista. Contribuyen así a una cierta normalización, control y explotación de la sociedad. Sin embargo, a menos que nos entreguemos al fatalismo político, debemos reconocer que la facultad de abstracción nunca fue un atributo exclusivo del poder. Para impugnar el trabajo abstracto en el sentido capitalista, debemos considerar que la facultad de abstracción pertenece a la mente humana en su relación dialéctica con el mundo, con las herramientas y las técnicas, y no solo a un aparato soberano, capitalista o de otro tipo. Como señalan con justa razón los filósofos políticos Michael Hardt y Antonio Negri, "la abstracción es esencial tanto para el funcionamiento del capital como para su crítica".[57] Cualquier abstracción, cualquier clasificación es el resultado de una división social del trabajo, de contradicciones y conflictos que son generativos

[53] Ibid., 101.

[54] Ibid., 296.

[55] El trabajo representado en el valor de una mercancía es trabajo abstracto, que se mide en función del tiempo de trabajo socialmente necesario.

[56] Ibid., 103-105.

[57] Michael Hardt y Antonio Negri, *Commonwealth*, Cambridge, MA: Harvard University Press, 2009, 127.

de conocimiento. De manera similar, las redes neuronales de Hayek y las redes neuronales artificiales en general siguen siendo una extensión de esta misma división social del trabajo abstracto.

9. LA INVENCIÓN DEL PERCEPTRÓN

El éxito que tuvimos al desarrollar el Perceptrón implica que, por primera vez, un objeto no biológico conseguirá una organización de su entorno externo de manera significativa [...]. Mi colega [Marshall Yovits] no aprueba toda esa charla informal que se escucha hoy sobre cerebros mecánicos. Prefiere decir que nuestra máquina es un sistema autoorganizado, pero, entre nosotros, precisamente eso es cualquier cerebro.

Frank Rosenblatt, entrevista realizada por *The New Yorker*[1]

El papel de la experimentación se vuelve cada vez más importante a medida que aumenta la complejidad de los sistemas a considerar, mientras que lo que puede lograrse mediante el razonamiento puramente lógico no alcanza a entender por completo el desempeño del sistema. Eso no significa que aboguemos por un abandono del análisis teórico, sino, más bien, al estilo de Galileo, que la teoría debe ir acompañada en todo momento de experimentación, y de la interacción entre teoría y experimento surgirá el conocimiento de los pasos adecuados que vendrán a continuación.

Frank Rosenblatt, "Analytic Techniques for the Study of Neural Nets" [Técnicas analíticas para el estudio de redes neuronales][2]

Los fallos son defectos, pero los instrumentos funcionan. Un principio de los estudios científicos es que el disenso es instructivo, no patológico, y que el acuerdo no es inevitable, sino que hay que explicarlo.

[1] "Rival", *The New Yorker*, 6 de diciembre de 1958, 44.

[2] Frank Rosenblatt, "Analytic Techniques for the Study of Neural Nets", IEEE Transactions on Applications and Industry 83, N° 74 (septiembre de 1964): 285.

> El funcionamiento adecuado de los instrumentos requiere un análisis comparable. Por lo tanto, "la gran pregunta" es cómo se juzga que los instrumentos funcionan y, de hecho, cuáles son.
>
> Simon Schaffer, "Easily Cracked"[3]

"Una organización del entorno externo de manera significativa"

En 1958, dos años después de la Conferencia de Dartmouth sobre IA, *The New York Times* anunció con grandes titulares el proyecto de una nueva "máquina pensante": la red neuronal artificial "Perceptrón".[4] Su inventor, el psicólogo Frank Rosenblatt (en esa época tenía apenas treinta años), y su patrocinador, Marshall Yovits, de la Oficina de Investigación Naval de Estados Unidos, buscaban buena prensa para justificar el gasto del dinero de los contribuyentes. Con elogios para el invento, el diario informaba de manera caricaturesca: "la Armada reveló el embrión de una computadora electrónica [...] que espera que sea capaz de caminar, hablar, ver, escribir, reproducirse y ser consciente de su existencia". Era una fanfarria para las fuerzas armadas, pero algunas de las exageraciones del artículo predijeron los escalofriantes logros futuros de las redes neuronales profundas. Por ejemplo, el artículo profetizó de manera inquietante el reconocimiento facial y el procesamiento del lenguaje natural que surgiría medio siglo más tarde: "Los Perceptrones posteriores serán capaces de reconocer a las personas y llamarlas por su nombre y traducir al instante el habla en otra lengua, el habla o el lenguaje escrito en otro idioma".[5]

Ese mismo año, la revista *The New Yorker* realizó una cobertura más sobria por medio de una entrevista a Rosenblatt, que aclaró que el Perceptrón no era "un cerebro mecánico", como afirmaban las exageraciones, sino una máquina autoorganizada que también podría proporcionar "una organización del entorno externo de manera significativa". Parafraseando el principio hebbiano de la neuroplasticidad ("las neuronas que se activan juntas permanecen conectadas"), la revista describió con precisión, para la época, el funcionamiento de una red neuronal artificial:

[3] Simon Schaffer, "Easily Cracked: Scientific Instruments in States of Disrepair", *Isis* 102, N° 4, 2011: 707.

[4] En 1949, la revista *Time* dio la bienvenida al homeostato de Ashby con la misma retórica: "lo más parecido a un cerebro sintético diseñado por el ser humano hasta el momento". "The Thinking Machine", *Time*, 24 de enero de 1949.

[5] "New Navy Device Learns by Doing", *The New York Times*, 8 de julio de 1958.

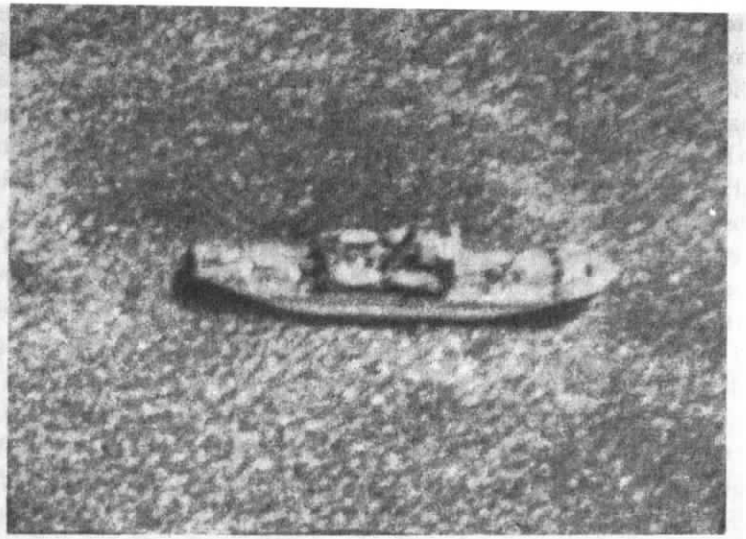
> La característica distintiva del Perceptrón es que interactúa con el entorno y forma conceptos que no fueron preparados por ningún agente humano. Los biólogos afirman que solo los sistemas biológicos pueden ver, sentir y pensar, pero el Perceptrón se comporta como si viera, sintiera y pensara. Tanto las computadoras como los perceptrones tienen supuestas memorias; en estos últimos, sin embargo, la memoria no es un mero depósito de hechos seleccionados y acumulados de manera deliberada, sino un área libre e indeterminada de unidades de asociación, que conectan, lo más aleatoriamente posible, una entrada sensorial, u ojo, con una cantidad muy elevada de unidades de respuesta.
>
> Si se le muestra un triángulo al ojo del Perceptrón, las unidades de asociación conectadas con el ojo recogen la imagen del triángulo y la conducen a través de una sucesión aleatoria de líneas a las unidades de respuesta, donde se registra la imagen. La próxima vez que se le muestre el triángulo al ojo, su imagen viajará por el camino ya recorrido por la imagen anterior. Es significativo que, una vez establecida una respuesta determinada, todas las conexiones que conducen a esa respuesta se refuerzan, y si se le muestra al Perceptrón un triángulo de tamaño y forma diferentes, su imagen recorrerá el camino que siguió el primer triángulo.[6]

¿Qué tipo de red neuronal artificial era el Perceptrón? Rosenblatt se esforzó para explicar el funcionamiento de los perceptrones en términos sencillos, y tiempo después se lamentó de que las exageraciones de los medios arruinaran la "confianza científica".[7] En el Laboratorio Aeronáutico de Cornell en Buffalo, Nueva York, se lo archivó como "Project PARA: Perceiving and Recognising Automaton" [Proyecto PARA: Autómata de percepción y reconocimiento]. La Armada —la principal patrocinadora del proyecto— estaba interesada principalmente en la automatización de la clasificación de objetivos, como el reconocimiento de naves enemigas a través del radar, sonar o datos visuales (figs. 9.1 y 9.2).[8] Rosenblatt también pensaba diseñar, además de los *fotoperceptrones*, diversos tipos de dispositivos que funcionaran según la misma lógica, que incluía los *fonoperceptrones* (para reconocer palabras en comunicaciones de audio) y *radioperceptrones* (para reconocer objetos en las señales de radar

[6] "Rival", 44.

[7] Frank Rosenblatt, *Principles of Neurodynamics: Perceptrons and the Theory of Brain Mechanisms*, Washington: Spartan Books, 1962, vii (originalmente publicado como Technical Report VG-1196-G-8, Cornell Aeronautical Laboratory, 15 de marzo de 1961).

[8] Ver Nicholas Pryor, "The Perceptron as an Adaptive Classification Device", US Naval Ordinance Laboratory, White Oak, Silver Spring, Maryland, noviembre de 1961.



A. AERIAL PHOTO OF SHIP IN SPECULAR SEA CLUTTER

B. AERIAL PHOTO OF PERSONNEL TRENCHES AND OTHER AIRFIELD STRUCTURES

Figura 9.1. Ejemplos de clasificación de objetivos. Albert Murray, "Perceptron Applications in Photo Interpretation", *Photogrammetric Engineering* 27, N° 4, 1961: 633.

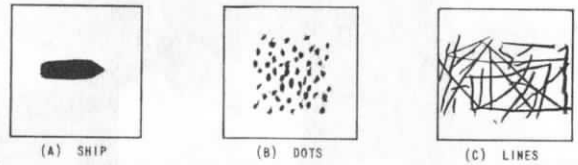


FIG. 4A. Pictures showing original slides used in Ship-In-Clutter experiment.

FIG. 4B. Pictures showing how (A) in Figure 4A and combinations of (A) with (B) and with (C) appear after quantization by the Mark I Perceptron Retina. These are the visual data which actually enters the machine and upon which its decisions are based.

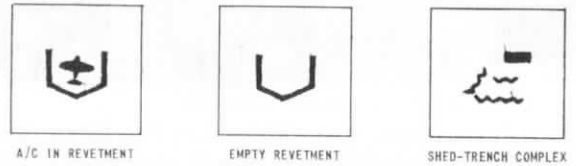


FIG. 5A. Pictures showing original slides used in the Revetment Experiment.

FIG. 5B. Pictures showing how the Mark I Retina Quantizes the Images in Figure 5A. Quantized images, indicating what information actually enters the Perceptron, are obtained from the Sensory System Monitor. A Bank of 20"×20" Neon Indicator Lamps, wired in parallel with the Sensory Units.

Figura 9.2. Ejemplos de clasificación de objetivos. Albert Murray, "Perceptron Applications in Photo Interpretation", *Photogrammetric Engineering* 27, N° 4, 1961: 634.

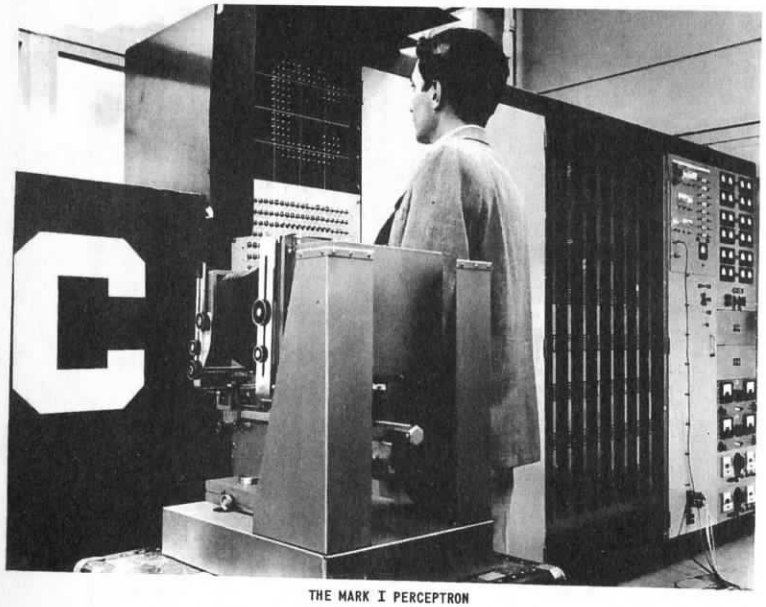


Figura 9.3. Mark I Perceptrón. Frank Rosenblatt, *Principles of Neurodynamics: Perceptrons and the Theory of Brain Mechanisms*, Buffalo, NY: Laboratorio Aeronáutico de Cornell, 1961, iii.

y sonar).[9] Desde el punto de vista técnico, el Perceptrón era una red neuronal estadística para el reconocimiento de patrones, es decir, una red informática autoorganizada para la clasificación de estímulos de forma binaria, como se mencionó brevemente en capítulos anteriores.

El Mark I Perceptrón

La primera implementación del Perceptrón fue una simulación informática escrita en el lenguaje de programación SHARE y ejecutada en 1957 en una IBM 704, una de las primeras unidades centrales comerciales. En las primeras pruebas se alimentó a la computadora con una serie de tarjetas perforadas y, aparentemente, después de cincuenta intentos, "se enseñó a sí misma a distinguir

[9] Ver Frank Rosenblatt, "The Perceptron: A Perceiving and Recognizing Automaton (Project PARA)" Informe N° 85-460-1, Cornell Aeronautical Laboratory, 2 de enero de 1957. Ver también los ejemplos visuales en Albert Murray, "Perceptron Applications in Photo Interpretation", *Photogrammetric Engineering* 27, N° 4, 1961.

las tarjetas marcadas a la izquierda de las tarjetas marcadas a la derecha".[10] Rosenblatt consideró que eso demostraba que se podía diseñar una arquitectura más compleja del Perceptrón para reconocer patrones más complejos. Poco después del artículo de *The New York Times*, esa idea tomó la forma de un voluminoso equipo de *hardware* que no se completaría hasta 1960: el legendario Mark I Perceptrón, que ahora se exhibe en el Museo Nacional Smithsoniano de Historia Estadounidense, situado en Washington, D.C. (ver fig. 9.3). Mark I era la misma computadora digital que John von Neumann había usado en la década de 1940 para hacer cálculos para el Proyecto Manhattan; sin embargo, en esta implementación, se amplió con el módulo analógico del Perceptrón. A pesar de que era mil veces más lenta que la IBM 704, este híbrido entre *hardware* y *software* permitía a los programadores volver a cablear la red a mano, que era más rápido que volver a escribir un programa. El manual de operación la describe de esta manera:

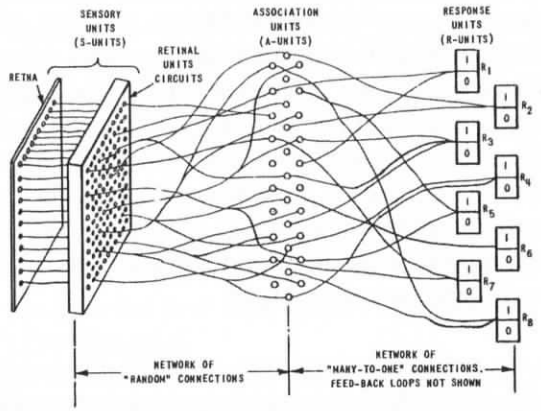


Figura 9.4. Diagrama de la organización del Mark I Perceptrón (no se muestran los bucles de retroalimentación). Frank Rosenblatt, *Mark I Perceptron Operators' Manual*. Buffalo, NY: Laboratorio Aeronáutico de Cornell, 1960, 4.

[10] Pryor, "Perceptron as an Adaptive Classification Device", 7.

> El Mark 1 Perceptrón es un dispositivo de aprendizaje y reconocimiento de patrones. Puede aprender a clasificar patrones planos en grupos según ciertas similitudes y diferencias geométricas. Entre las propiedades que podría usar para hacer sus discriminaciones y generalizaciones son la posición en el campo visual retiniano, la forma geométrica, la frecuencia de ocurrencia y el tamaño. Si se desea una base de clasificación específica, entre muchas posibles, se la puede transferir al Perceptrón mediante una sesión de *aprendizaje forzado* o por medio de un proceso de *entrenamiento de corrección de errores*. Librado a sus propios recursos, el Perceptrón aún puede separar en clases los patrones que se le presentan, según una base de clasificación de creación propia. A ese proceso de creación se lo llama comúnmente *aprendizaje espontáneo*.[11]

El Mark 1 Perceptrón implementaba una red neuronal simple, compuesta por tres capas de unidades que estaban conectadas en secuencia: "Unidades sensoriales o *S-units*, unidades de asociación o *A-units*, unidades de respuesta o *R-units*" (ver fig. 9.4).[12] La capa de entrada (también llamada "retina") era una cámara de 20x20 pixeles, con 400 fotorreceptores en total. Esas unidades sensoriales estaban conectadas de manera aleatoria o topológica, con pesos fijos, a una capa de 512 unidades asociativas.[13] Las unidades asociativas, a su vez, estaban conectadas a ocho unidades de respuesta (*R-units* o salida) con pesos que podían ajustarse de manera automática (esos "pesos" eran potenciómetros analógicos que también podían controlarse a mano). Al igual que las neuronas artificiales de Warren McCulloch y Walter Pitts, las unidades asociativas y de respuesta funcionaban según un valor umbral: sumarían sus valores de entrada y se dispararían solo si la suma superara un umbral determinado (ver fig. 9.5).[14] El manual de operación lo describía como una especie implementación de la regla hebbiana, pero esa es quizás una interpretación generosa:

> Sin embargo, las unidades asociativas (*A-units*) difieren de las demás en que, cuando se encienden, la excitación que transmiten a las unidades de respuesta (*R-units*) tiene un valor que depende del éxito comparativo que haya tenido esa unidad asociativa (*A-unit*) en contribuir al encendido de su unidad de respuesta (*R-unit*) en el pasado. Esos valores conforman la memoria del Perceptrón.[15]

[11] John Hay, Ben Lynch y David Smith, "Mark 1 Perceptron Operators' Manual", Buffalo, NY: Laboratorio Aeronáutico de Cornell, 1960, 1.

[12] Ibid., 3. En las denominaciones actuales de aprendizaje automático, solo cuenta la capa central, y el Perceptrón simple es considerado una red neuronal de una sola capa.

[13] Hay *et al.*, "Mark 1 Perceptron Operators' Manual".

[14] "Todas las subunidades son de un tipo que se enciende y transmite la excitación a la capa siguiente solo cuando la suma de su excitación de entrada supera un determinado umbral. Para el Mark 1, las señales de entrada de las unidades sensoriales (*S-units*) son en forma de luz, mientras que para el resto de las unidades, las señales de entrada son eléctricas". Hay *et al.*, "Mark 1 Perceptron Operators' Manual".

En esa intrincada maraña de cables, hay que recordar que los parámetros que podían entrenarse eran los potenciómetros que vinculaban las unidades de asociación con las unidades de respuesta. En total, 512 x 8 = 4.096 parámetros. Para ser más precisos, el Mark 1 Perceptrón ejecutaba ocho perceptrones simples en paralelo, cada uno dedicado a reconocer un patrón. Dada una retina de 20x20 pixeles, cada Perceptrón simple tenía 400 parámetros. En cualquier caso, en términos de complejidad algorítmica, ya era una gran cantidad de variables para computar mediante aproximación por incrementos con los recursos de esa época. En la actualidad, para dar una idea de la escala diferente de complejidad, bastan tres líneas de código Python para ejecutar el algoritmo del Perceptrón en una computadora de escritorio, mientras que un gran modelo como GPT4 comprende alrededor de 1 billón de parámetros (que requieren de un enorme centro de datos para entrenamiento y despliegue).

La aleatoriedad de las conexiones y pesos iniciales fue crucial para que Rosenblatt demostrara que el Perceptrón mostraba una capacidad de autoorganización, incluso cuando iniciaba a partir un estado caótico. Rosenblatt se mostró entusiasmado por la resolución de computación del Perceptrón y comentó: "Es evidente que con una cantidad increíblemente pequeña de unidades —en contraste con las 10^{10} células nerviosas del cerebro humano— el Perceptrón es capaz de realizar actividad muy sofisticada".[16] La arquitectura del Perceptrón podía variar y asumir distintas configuraciones con más capas y funciones. Ya se ve con claridad en los artículos de Rosenblatt que estimar la configuración óptima de la red de computación era un oficio en sí, que formaba parte de la práctica experimental.

Estimar una buena arquitectura para el Perceptrón era solo la mitad del problema: la otra mitad era diseñar un algoritmo de entrenamiento y una técnica de corrección de errores para hallar el valor óptimo de los parámetros expresados por las conexiones de la red.[17] El procedimiento de entrenamiento

[15] Hay *et al.*, "Mark 1 Perceptron Operators' Manual", 3.

[16] Frank Rosenblatt, "The Design of an Intelligent Automaton", *Research Trends, Cornell Aeronautial Laboratory* 6, N° 2, 1957: 4.

[17] El algoritmo de entrenamiento del Perceptrón se inspiró en el procedimiento ya probado en G. Farley y W. Clark, "Simulation of Self-Organizing Systems by Digital Computer", *Transactions of the IRE Professional Group on Information Theory* 4, 1954: 76-84.

Nov. 22, 1966 F. ROSENBLATT 3,287,649

AUDIO SIGNAL PATTERN PERCEPTION DEVICE

Filed Sept. 9, 1963 4 Sheets-Sheet 1

Fig 1

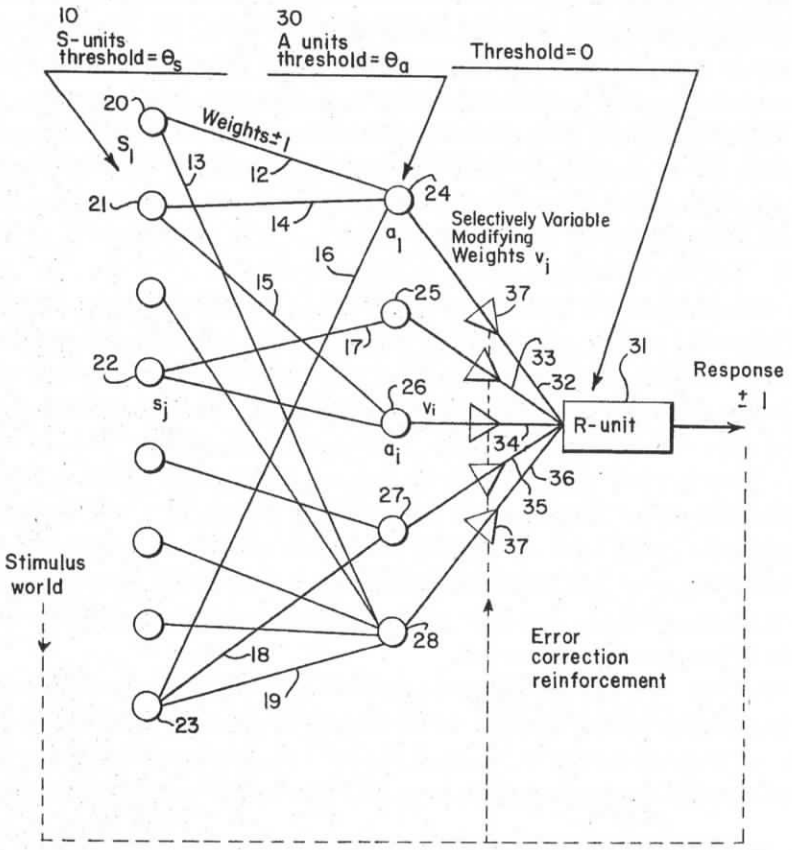


Figura 9.5. Esquema de un Perceptrón simple realizado por Rosenblatt, patente de Estados Unidos US3287649A. Fue presentada en 1963 y se le otorgó en 1966. La patente venció al cabo de veinte años, en 1983.

se basaba en la suposición de que si existía una solución para un problema de clasificación (si el conjunto de imágenes podía separarse de manera lineal en dos grupos), los parámetros convergerían hacia valores óptimos en una cantidad finita de pasos. Un algoritmo principal para entrenar al Perceptrón fue el siguiente procedimiento de aproximación paso a paso, que básicamente es una versión automatizada de la técnica del cálculo diferencial:

1. Comience con un Perceptrón con pesos aleatorios y un conjunto de entrenamiento.
2. Para las entradas de un ejemplo en el conjunto de entrenamiento, compute la salida del Perceptrón.
3. Si la salida del Perceptrón no coincide con la salida que se sabe que es la correcta para el ejemplo:
   a) Si la salida debería haber sido 0 pero fue 1, disminuya los pesos que tuvieron una entrada de 1.
   b) Si la salida debería haber sido 1 pero fue 0, aumente los pesos que tuvieron una entrada de 1.
4. Vaya al ejemplo siguiente del conjunto de entrenamiento y repita los pasos 2-4 hasta que el Perceptrón no cometa más errores.[18]

En la actualidad, el aprendizaje profundo emplea algoritmos más refinados (como el descenso del gradiente), pero el principio de prueba y error sigue siendo el mismo: (1) presente una imagen a la red neuronal; (2) verifique si la salida es correcta; (3) si no lo es, aumente o disminuya los parámetros en un valor pequeño; (4) repita el procedimiento hasta que la red neuronal compute la salida correcta. Una vez más, el problema es encontrar el procedimiento más eficiente que converja en el resultado final en la menor cantidad de pasos. El diseño del algoritmo de entrenamiento es un nivel adicional de abstracción y resolución de problemas, que es distinto de la estructura de la red neuronal. En este sentido, lo que muchos llaman "inteligencia artificial" es solo una técnica de optimización matemática. Sigue siendo un caso de aproximación por fuerza bruta, cuya lógica se ha vuelto aún más "bruta" en los grandes modelos con billones de parámetros. Finalmente, es notable que en el corazón de las técnicas más avanzadas de la "inteligencia artificial" encontremos procedimientos de aproximación que no difieren tanto de los que constituían el cálculo en la antigüedad (ver capítulo 1).

[18] Andrey Kurenkov, "A Brief History of Neural Nets and Deep Learning", 27 de septiembre de 2020, skynettoday.com.

¿Qué era capaz de hacer el Mark 1 Perceptrón? En términos de reconocimiento de patrones, no podía hacer mucho. Era capaz de distinguir un cuadrado negro a la izquierda del campo visual de uno situado a la derecha, y distinguir letras simples si estaban alineadas en el centro de su matriz visual de 20x20. Su capacidad de reconocimiento de patrones (como demostraron Marvin Minsky y Seymour Papert en su crítica, explicada a continuación) era primitiva y estaba restringida a figuras continuas. Rosenblatt y su equipo eran conscientes de las limitaciones, pero especulaban con que arquitecturas con más capas (como finalmente demostró el aprendizaje profundo) podrían realizar tareas de reconocimiento más complejas:

> Parece razonable esperar que una máquina similar al Perceptrón con una profundidad lógica de tres o más (obtenida por dos o más capas de unidades asociativas, en que cada capa proporcione la excitación para la siguiente) sería mucho más potente que el Perceptrón.[19]

Debemos destacar que en 1958, Rosenblatt ya había imaginado restricciones espaciales similares a los filtros que fundamentaban la idea de las redes neuronales convolucionales en el origen del aprendizaje profundo.[20] En concreto, en *Neurodynamics*, mencionó el estudio de David Hubel y Torsten Wiesel sobre la corteza visual del gato y sus restricciones topológicas, que más tarde inspirarían la red neuronal "neocognitron" de Kunihiko Fukushima (1980), la arquitectura conocida como "LeNet" (1989) y finalmente AlexNet (2012).[21]

Rosenblatt también estaba al tanto de las limitaciones lógicas de las redes neuronales estadísticas para imitar la inteligencia humana cuando escribió: "La separabilidad estadística por sí sola no brinda una base suficiente para un orden de abstracción más elevado. En este punto parece necesario algún sistema más avanzado en principio que el Perceptrón."[22] Hasta la fecha, a falta de una teoría completa del aprendizaje estadístico, las redes neuronales artificiales y

[19] Pryor, "The Perceptron as an Adaptive Classification Device", 6.

[20] "Es posible mostrar que mediante una organización adecuada de los puntos de origen, en la cual la distribución espacial esté restringida [...] las unidades asociativas se volverán particularmente sensibles a la ubicación de los contornos y mejorará el rendimiento". Frank Rosenblatt, "The Perceptron: A Probabilistic Model for Information Storage and Organization in the Brain", *Psychological Review* 65, N° 3, 1958: 404. La idea también fue tomada por Minsky y Papert en su libro *Perceptrons*, comentado más abajo. Ver H. D. Block, Bruce Knight y Frank Rosenblatt, "Analysis of a Four-Layer Series-Coupled Perceptron", *Reviews of Modern Physics* 34, (enero de 1962): 135-142.

[21] Rosenblatt, *Neurodynamics*, 515-16. David Hubel y Torsten Wiesel, "Receptive Fields of Single Neurons in the Cat's Striate Cortex", *Journal of Physiology* 148, N° 3, 1959: 574-91.

[22] Rosenblatt, "The Perceptron: A Probabilistic Model", 405.

el aprendizaje profundo se encuentran aún en la fase epistemológica de *experimentación*. En otras palabras, son máquinas de potencialidades desconocidas y fallas impredecibles.

Los modelos del cerebro y el método experimental

El Perceptrón simple no fue la primera red neuronal artificial sino la primera red *adaptativa*, es decir, no solo era capaz de reconocer patrones sino de *aprender* a cómo reconocerlos (y ser recableada en configuraciones distintas para *aprender de manera diferente*). A pesar de que sus logros eran primitivos, no obstante, se lo considera el primer algoritmo clasificador. Como hemos señalado antes, la arquitectura de la red neuronal ya se conocía: para demostrar la capacidad de autoorganización y adaptación de las neuronas cerebrales, Rosenblatt pretendía iniciar el Perceptrón con valores aleatorios. Después, Rosenblatt aplicaba un algoritmo de corrección de errores para ajustar de manera gradual esos valores y hacerlos converger en un equilibrio óptimo con datos externos, logrando así "inteligencia" como un orden espontáneo que surgía del caos.

El revuelo en torno a las redes neuronales y las teorías de la autoorganización (ver capítulo 6) inicialmente causaron malestar y envidia entre la "intelligentsia artificial", en especial en los círculos de la IA simbólica que competía por los mismos fondos aportados por las fuerzas armadas.[23] En 1961, para contrarrestar esa reacción negativa, Rosenblatt procedió a sistematizar su investigación en la extensa monografía *Principles of Neurodynamics* [Principios de la neurodinámica], que, si bien ha sido poco estudiada, sigue siendo la mejor fuente para comprender los orígenes de las redes neuronales artificiales. Sin embargo, un ensayo de 1964, "Analytic Techniques for the Study of Neural Nets" [Técnicas analíticas para el estudio de redes neuronales], presenta mejor la perspectiva de la investigación de Rosenblatt. En este texto posterior, con el fin de defender la naturaleza experimental de las redes neuronales artificiales, Rosenblatt utilizó el método de Galileo en contra del aristotélico, que, en su opinión, aún se usaba en otros estudios de modelos del cerebro. Por ejemplo, los teóricos de la IA simbólica creían en la posibilidad de codificar las reglas de la mente en las reglas de la máquina directamente, sin pruebas experimentales:

[23] Sobre una parodia de la competencia por la financiación militar entre los diferentes grupos de investigación de la IA, ver Louis Fein, "The Artificial Intelligentsia", Wescon Technical Papers, vol. 7 (11.1, parte 7) (1963), 1-7.

> Durante los dos milenios posteriores a Aristóteles, se creyó que las verdades fundamentales de la naturaleza podían revelarse a través de la aplicación de la razón pura, que era el filósofo y no el experimentador quien podría discernir el orden necesario de la naturaleza gracias a la fuerza de su intelecto [...]. Después, a principios del siglo XVII, la publicación del libro *Dos nuevas ciencias* de Galileo le dio voz por primera vez a la doctrina del método experimental. La obra de Galileo, que abogaba por una alternativa clara al racionalismo aristotélico, engendró un período de crecimiento científico y descubrimientos en las ciencias físicas que aún no ha terminado [...]. Puede suceder, por coincidencia, que esos resultados tengan aplicación en el campo de la ingeniería, pero aquí proponemos trabajar no como inventores, sino como descubridores, y el tipo de teorización que conduce al descubrimiento científico puede ser muy diferente del tipo de teorización útil para la síntesis de ingeniería.[24]

La manera en que Rosenblatt reclamaba el papel de "descubridor" más que el de "inventor" puede considerarse ingenua, pero de algún modo era una defensa del método científico y experimental en contra de la "mentalidad ingenieril" de muchos cibernéticos. Rosenblatt profesó la cultura experimental de la investigación en redes neuronales artificiales, en particular frente a la lógica autoprobatoria de la IA simbólica. En la introducción a *Neurodynamics*, de manera similar, Rosenblatt se hace eco del método de "epistemología experimental" de McCulloch, para afirmar que:

> un Perceptrón es, ante todo, un modelo del cerebro, no un invento para el reconocimiento de patrones. Como modelo del cerebro, su utilidad reside en permitirnos determinar las condiciones físicas para la emergencia de varias propiedades psicológicas. No se trata en absoluto de un modelo "completo", y somos muy conscientes de las simplificaciones que se han hecho de los sistemas biológicos, pero, por lo menos, es un modelo analizable.[25]

Para Rosenblatt, el hecho de ponerse del lado de los científicos más que de los ingenieros informáticos fue una manera de sostener la naturaleza incompleta, parcial y tentativa del Perceptrón como *modelo experimental*. Al igual que Hayek, Rosenblatt sostenía que un modelo del cerebro siempre es una implementación,

[24] Frank Rosenblatt, "Analytic Techniques for the Study of Neural Nets", *Proceedings of the American Institute of Electrical Engineers (AIEE) Joint Automatic Control Conference*, 1962, 91.

[25] Rosenblatt, *Neurodynamics*, viii.

es decir, una simplificación y una exageración de algunas de sus características, como explicó:

> Los perceptrones no pretenden servir como copias detalladas de ningún sistema nervioso real. Son redes simplificadas, diseñadas para permitir el estudio de relaciones legítimas entre la organización de una red nerviosa, la organización de su entorno y las habilidades "psicológicas" de las que es capaz la red. Los perceptrones podrían corresponder a partes de redes más extensas en sistemas biológicos [...]. Lo más probable es que representen simplificaciones extremas del sistema nervioso central, en las que algunas propiedades se exageran y otras se suprimen.[26]

El Perceptrón era una máquina compuesta por numerosos parámetros que se ajustaban para aproximar un resultado. Si los experimentos científicos por lo general dependen de probar modelos de unos pocos parámetros, es posible considerar a la red neuronal de Rosenblatt como una simulación experimental por excelencia, dada la creciente cantidad de parámetros que hay que determinar. Esa dimensión experimental no estaba presente en la IA simbólica, cuyos algoritmos, en cambio, se basaban con frecuencia en la suposición contraria: que una cantidad limitada de reglas podía proyectar una inteligencia ilimitada sin admitir demasiado el papel fundamental que desempeña la implementación.[27] Los parámetros numéricos del Perceptrón no eran una *representación* del mundo como en la IA simbólica; eran simplemente elementos relacionales y parciales en la construcción de un *modelo no isomórfico* del mundo. Esa característica escalaría en el aprendizaje profundo, con modelos algorítmicos como el GPT4 que en la actualidad cuenta con billones de parámetros. En realidad, a pesar de la simplicidad aparente de su arquitectura, una red neuronal requiere una cantidad de operaciones que aumenta de manera exponencial añadiendo solo algunas capas y conexiones. Al escribir la historia de la computación desde el punto de vista de la complejidad algorítmica —es decir, el volumen de los cálculos y el uso de recursos—, las redes neuronales estadísticas como el Perceptrón señalaron un obstáculo que, en esa época, no era posible salvar con éxito debido a la falta de potencia de cálculo.

[26] Ibid., 28.

[27] Sobre el papel de la implementación técnica en la IA simbólica, ver Stephanie Dick, "Of Models and Machines: Implementing Bounded Rationality", *Isis* 106, N° 3, 2015: 623-34.

De la lógica simbólica al espacio vectorial

El primer simposio internacional que abordó el flamante campo de la IA se llevó a cabo en noviembre de 1958, en el Laboratorio Nacional de Física de Teddington, West London, con el nombre de "Mechanisation of Thought Processes" [La mecanización de los procesos de pensamiento].[28] Ese evento desempeñó un papel clave en la historia de la IA, pero se lo ha estudiado muy poco; aquí, por razones de espacio, solo consideraremos la contribución de Rosenblatt. Rosenblatt participó del simposio para aclarar y defender la intuición matemática que estaba detrás del Perceptrón, es decir, el teorema de la separabilidad estadística de los datos en un espacio multidimensional. Diferenciándose del computacionalismo rígido de otros estudiosos de la IA que participaron del simposio, Rosenblatt explicó que las matemáticas del Perceptrón tenían mucho más en común con "las matemáticas de la física de partículas", es decir la estadística, que con las "matemáticas de las computadoras digitales".[29] Al crear un modelo del cerebro, Rosenblatt instó a sus colegas a alejarse del paradigma de la computación digital porque "el álgebra booleana, o la lógica simbólica, es más adecuada para el estudio de sistemas lógicos que se pueden describir por completo, pero se desmorona en cuanto intentamos aplicarla a sistemas de los cuales no disponemos de toda la información".[30] En favor de su tesis, Rosenblatt también invocó la autoridad de Von Neumann, quien había fallecido el año anterior. Como ya vimos en el capítulo 7, en una de sus últimas conferencias Von Neumann señaló:

> La lógica y las matemáticas en el sistema nervioso central [...] deben ser, desde el punto de vista estructural, diferentes en esencia de los lenguajes a los que se refiere nuestra experiencia común [...]. Cuando hablamos de matemáticas, podemos estar hablando de un lenguaje *secundario*, construido sobre el lenguaje *primario* usado verdaderamente por el sistema nervioso central. De este modo, las formas externas de *nuestras* matemáticas no son absolutamente relevantes desde el punto de vista de la evaluación de cuál es el lenguaje matemático o lógico *verdaderamente* utilizado por el sistema nervioso central [...].[31]

Von Neumann argumentaba que hay menos "profundidad lógica" en el cerebro que en la computadora, que podría requerir millones de pasos lógicos sucesivos para imitar un proceso simple de pensamiento (conocido como el problema de la "explosión combinatoria", mencionado antes). Siguiendo a Von Neumann, Rosenblatt llegó a una conclusión similar: "En lo que respecta al cerebro, parece estar implicado un tipo diferente de matemáticas, principalmente de naturaleza estadística [ya que el] cerebro parece llegar a muchos resultados de manera directa, o *intuitiva*, en lugar de analítica". En estos párrafos queda claro que Rosenblatt pretendía conceptualizar el Perceptrón no como una máquina lógica sino estadística, o dicho de otro modo, una máquina muy diferente del paradigma de la computación booleana y binaria que estaba emergiendo en esos años. La genealogía del Perceptrón muestra un linaje tecnológico que está relacionado, pero que es muy distinto del de la computadora digital.

La invención del Perceptrón, de hecho, condensa influencias que proceden de disciplinas tan diversas como la neurología, la psicología, la ingeniería, la cibernética, las matemáticas y la estadística. *Neurodynamics*, el libro de Rosenblatt, es la mejor fuente para poner de manifiesto esa conjunción de ideas. Además de Von Neumann, en *Neurodynamics* Rosenblatt reconoció las contribuciones de Nicolas Rashevsky, McCulloch y Pitts, así como también de Minsky, por la idea de la red neuronal lógica; Albert Uttley, por el modelo probabilístico de la memoria distribuida; Ross Ashby, por la teoría de la autoorganización en las máquinas; Donald Hebb y Hayek, por el autorrefuerzo de las vías neuronales, y los teóricos de la Gestalt, por la percepción holística y la memoria distribuida, entre otros.[32] Pero ¿de qué manera, exactamente, el Perceptrón constituyó un avance en la relación con esta tradición? En resumen, como forma técnica, el Perceptrón era una red electromecánica de computación, pero como forma matemática, expresaba un truco novedoso: sus parámetros ajustables representaban coordenadas en un espacio vectorial multidimensional. Esta idea tiene menos que ver con la neurofisiología que con la estadística. La innovación

[28] Ver también Herbert Bruderer, "The Birth of Artificial Intelligence: First Conference on Artificial Intelligence in Paris in 1951", en *International Communities of Invention and Innovation*, Advances in Information and Communication Technology, vol. 491, ed. Arthur Tatnall y Leslie Christopher, Berlin: Springer, 2016.

[29] Frank Rosenblatt, "Two Theorems of Statistical Separability in the Perceptron", *Symposium on the Mechanization of Thought*, National Physical Laboratory, Teddington, UK, noviembre de 1958, vol. 1, H. M. Stationery Office, London, 1959.

[30] Rosenblatt, "Two Theorems of Statistical Separability in the Perceptron", 422.

[31] Citado en Rosenblatt, "Two Theorems of Statistical Separability".

[32] Inspirándose en neuroplasticidad y la facultad de abstracción planteadas por Kurt Goldstein (ver capítulo 8), Rosenblatt también hizo una comparación entre algunos comportamientos de los perceptrones y el de los pacientes con lesiones cerebrales. "Por su 'comportamiento simbólico', el Perceptrón muestra algunas similitudes llamativas con los pacientes con lesiones cerebrales de Goldstein". Frank Rosenblatt, "The Perceptron: A Probabilistic Model for Information Storage and Organization in the Brain", Psychological Review 65, N° 3, 1958: 404.

de Rosenblatt consistió, como veremos más adelante, en aplicar la técnica estadística del análisis multidimensional (que había predominado en la psicología estadounidense en la década de 1950) al reconocimiento de imágenes. Desde entonces, esta técnica definió la forma lógica que constituye el núcleo del aprendizaje automático.[33]

Es posible reconstruir el "truco" matemático para resolver el reconocimiento de imágenes a través del análisis multidimensional de la siguiente manera. Cada imagen digital en un conjunto de datos de entrenamiento es una matriz bidimensional de valores numéricos que representan pixeles. Además de ser una matriz bidimensional, cada imagen también puede definirse como un solo punto en un espacio multidimensional cuyas coordenadas son los valores de cada pixel. Por ejemplo, dada la resolución del Mark I Perceptrón, una imagen de 20x20 pixeles es equivalente a un solo punto en un espacio multidimensional de 400 dimensiones. La proyección de imágenes digitales sobre un espacio multidimensional revela propiedades inesperadas. En ese espacio multidimensional, por ejemplo, los puntos que están más juntos unos de otros designan imágenes similares, mientras que los puntos que están más alejados designan imágenes disímiles. Además, siguiendo la progresión de un valor a lo largo de una sola dimensión, es posible organizar las imágenes según un gradiente de similitud específico. Entonces, en ese espacio multidimensional, el reconocimiento de patrones puede realizarse separando un grupo de puntos (que representan una clase de imágenes similares) de todos los demás (que representan imágenes diferentes). De este modo, es posible trazar un límite (o "hiperplano" en términos técnicos) para separar ese espacio de datos en dos regiones, para declarar cuáles imágenes pertenecen a una clase y cuáles no. La separación del espacio de datos en dos regiones se denomina clasificación binaria (de la cual también deriva el término "algoritmo clasificador").

Los teoremas de separabilidad estadística postulados por Rosenblatt argumentaban que un Perceptrón podía automatizar este acto de clasificación por sí mismo, y encontrar un hiperplano para separar de manera lineal el espacio vectorial en dos regiones: una que contuviera las imágenes correspondientes al patrón a "aprender" y la otra no. Los parámetros de la función matemática del hiperplano son los pesos de las conexiones de la red. Los pesos del Perceptrón trazan el hiperplano y ajustan su inclinación en todo el hiperespacio hasta que los dos grupos se separan perfectamente. En el caso del Perceptrón simple (con

[33] En la Unión Soviética, unos años después del Perceptrón de Rosenblatt, se desarrollaron de manera independiente otros algoritmos de aprendizaje estadístico y análisis multidimensional como las máquinas de vectores de soporte de Vladimir Vapnik.

400 pesos entre unidades asociativas y de salida), el hiperplano estaría definido por una ecuación lineal con 400 incógnitas. Los valores de esta ecuación (que son los pesos de la red neuronal) son hallados por el algoritmo de entrenamiento mediante el procedimiento de aproximación paso a paso mencionado antes.

El Perceptrón es un episodio crucial de la historia de las técnicas culturales: no solo conlleva un proceso de digitalización del plano de la imagen en una matriz numérica bidimensional sino su vectorización en una matriz estadística de múltiples dimensiones. Con este método, la facultad humana de reconocimiento de imágenes se tradujo y redujo a un problema de optimización matemática en un espacio vectorial.[34] Sin embargo, desde entonces su influencia ha ido más allá del reconocimiento de imágenes: la vectorización en múltiples dimensiones se ha aplicado a toda clase de datos y ha llegado a representar la forma epistemológica de la "inteligencia" que encarna, en general, el aprendizaje automático, que es una forma de *inteligencia estadística*.[35] La característica de "inteligencia" que se antropomorfiza en los sistemas de IA es esencialmente el truco de proyectar datos en un espacio multidimensional para realizar operaciones de agrupación, clasificación y predicción. En esencia, el aprendizaje automático exhibe la cualidad de "inteligencia" geométrica y espacial.

Los nuevos vectores de la mente

Durante la década de 1950 surgió la psicometría como un subcampo influyente en los departamentos de psicología de todas las universidades estadounidenses. Representó un giro muy reduccionista en el estudio de la psiquis, ya que se ocupaba principalmente de la cuantificación y la medición estadística de los rasgos de la personalidad, las capacidades cognitivas y las aptitudes laborales. Finalmente, se volvió una práctica común para muchos estudiantes convertir datos de pruebas psicológicas en vectores, con el fin de calcular similitudes, covarianzas y encontrar patrones de distintos tipos.

Al rastrear los orígenes del Perceptrón, el investigador de la IA Jonathan Penn descubrió recientemente que Rosenblatt ya había empleado técnicas psicométricas de análisis multidimensional en su investigación doctoral, con el

[34] Existen otras soluciones para separar linealmente un espacio vectorial. Por ejemplo, las máquinas de vectores de soporte son algoritmos que difieren de las redes neuronales artificiales, pero buscan calcular hiperplanos similares en un espacio multidimensional.

[35] Sobre una historia de los métodos estadísticos en el reconocimiento de patrones, la ciencia de datos y el análisis predictivo, ver Matthew L. Jones, "How We Became Instrumentalists (Again): Data Positivism since World War II", *Historical Studies in the Natural Sciences* 48, N° 5, 2018: 673-684.

propósito de examinar perfiles de personalidad. En 1953, Rosenblatt pidió a doscientos estudiantes de la Universidad de Cornell que respondieran un cuestionario sobre su infancia usando una escala numérica para cada respuesta, en busca del postulado típico de la psicometría acerca de que "es posible clasificar de manera objetiva las personalidades".[36] Siguiendo la tradición de la psicometría de Alfred Binet, Lewis Terman, Charles Spearman y, en especial, de Louis Leon Thurstone, Rosenblatt examinó los resultados mediante un método de análisis factorial para computar la similitud entre las matrices numéricas de cada cuestionario.[37] De este modo, Rosenblatt, que tenía veinticinco años, pretendía probar la presencia matemática de grupos de respuestas similares y, por lo tanto, demostrar, como lo haría un psicometrista ferviente, la existencia de personalidades distinguibles.

Quizás fue hacia el final de su doctorado cuando Rosenblatt observó que las matrices numéricas de las pruebas cognitivas eran idénticas a las matrices numéricas de las imágenes digitales y empezó a plantearse aplicar las mismas técnicas de análisis multidimensional al reconocimiento de patrones visuales. Es evidente que el Perceptrón de Rosenblatt computaba patrones de similitud en imágenes numéricas de la misma manera en que la psicometría computaba los patrones de similitud en las matrices numéricas de los perfiles psicológicos.[38] Este es otro ejemplo de las genealogías espurias y experimentales de la IA, que, no obstante, señalan una modalidad específica e interesante de innovación tecnológica en la cual el criterio de medición se anticipa a la automatización: de hecho, Rosenblatt reconvirtió las herramientas que se usaban para cuantificar una tarea cognitiva para la automatización de la propia tarea cognitiva. Durante su doctorado, Rosenblatt tuvo otra idea que sirvió como precursora del Perceptrón: planificó automatizar el análisis estadístico con una nueva máquina de calcular que se llamaba Computadora Electrónica de Análisis de Perfiles (EPAC, por sus siglas en inglés).[39] La revista *American Scientist* la describió de este modo:

[36] "Machine Computes Tests", Cornel Alumni News, 1 de diciembre de 1953.

[37] Louis Leon Thurstone, *The Vectors of Mind: Multiple Factor Analysis for the Isolation of Primary Traits*, Chicago: University of Chicago Press, 1935; Louis Leon Thurstone, *Multiple-Factor Analysis: A Development and Expansion of the Vectors of Mind*, Chicago: University of Chicago Press, 1947.

[38] Probablemente también influyó en Rosenblatt el hecho de que la "percepción de patrones" es una prueba muy común en la psicometría. Sobre ejemplos de similitudes entre matrices de datos visuales y no visuales, ver Thurstone, *The Vectors of Mind*.

[39] "El propósito de la EPAC era procesar datos recopilados de encuesta pagada de seiscientos ítems realizada a más de doscientos estudiantes universitarios de Cornell. La encuesta se llevó a cabo en papel y después se alimentó con esos datos a la computadora. Estos datos serían usados para probar la viabilidad del coeficiente k de Rosenblatt frente a una línea base novedosa: las relaciones complejas entre el tipo de personalidad y las relaciones familiares durante los primeros doce años de la vida del estudiante. Las preguntas de la encuesta tenían que ver con las relaciones personales entre un estudiante, sus padres y sus hermanos, así como también con otras permutaciones de esa lista". Jonathan Penn, "Inventing Intelligence: On the History of Complex Information Processing and Artificial Intelligence in the United States in the Mid-Twentieth Century", disertación de doctorado, Universidad de Cambridge, 2020, 89; Frank Rosenblatt, "The K-Coefficient: Design and Trial Application of a New Technique for Multivariate Analysis", disertación de doctorado, Universidad de Cornell, 1956.

> Un "cerebro idiota", una computadora electrónica que puede resolver un solo tipo de problemas, diseñada y construida por un estudiante de 25 años de la Universidad de Cornell. La máquina ayuda a su inventor, Frank Rosenblatt, a preparar datos para su tesis de doctorado en la Universidad. Un problema que una computadora de escritorio tardaría 15 minutos en resolver, esta máquina lo resuelve en dos segundos. Rosenblatt está probando la idea de que es posible clasificar las personalidades de manera objetiva y científica.[40]

Anterior al Mark I Perceptrón, la EPAC de Rosenblatt fue un primer experimento de la automatización del análisis multidimensional, una tarea que, por lo general, se asignaba a "computadoras" humanas (con frecuencia eran mujeres) en los laboratorios de psicología de la época. Del mismo modo en que Babbage colocó una máquina calculadora en el lugar de una computadora humana, podría decirse lo mismo acerca de Rosenblatt, que puso una computadora en el lugar de un estadístico, dando forma al aprendizaje automático tal y como se lo entiende en la actualidad. Durante su doctorado, Rosenblatt se propuso fortalecer la psicometría con la ayuda de una computadora, pero fue la psicometría en realidad la que ayudó a calcular las matrices de las redes neuronales artificiales y contribuyó a crear un nuevo modelo —estadístico, esta vez— de la mente sintética.

Tiene relevancia histórica el hecho de que el Perceptrón potenciara la automatización de las herramientas estadísticas precisamente en esos mismos años en que se estaban convirtiendo en un método predominante en la psicología estadounidense. Esa institucionalización de la estadística en la psicología estadounidense entre 1940 y 1955 fue estudiada y confirmada por el psicólogo alemán Gerd Gigerenzer. Además, Gigerenzer observó otro fenómeno crítico, la transformación de las herramientas del análisis psicológico en una teoría de la mente por derecho propio:

> La conquista de un nuevo territorio dentro de la psicología por parte de los estadísticos comenzó en la década de 1940 [...]. Para principios de la década

[40] "Editor Miscellany", *American Scientist* 42, N° 1 (enero de 1954): 32.

de 1950, la mitad de los departamentos de psicología de las principales universidades estadounidenses ofrecían cursos sobre métodos fisherianos y habían convertido la estadística inferencial en un requerimiento del programa de postgrado. Para 1955, más del 80% de los artículos experimentales en las principales publicaciones académicas usaban la estadística inferencial para justificar las conclusiones extraídas a partir de los datos [...]. Por lo tanto, planteé el año 1955 como una fecha aproximada para la institucionalización de la herramienta en los programas, los libros de texto y los artículos de fondo [...]. En la psicología experimental, la estadística inferencial se convirtió casi en sinónimo de método científico. A su vez, la estadística inferencial proporcionó gran parte de los nuevos conceptos para los procesos mentales que impulsaron la llamada revolución cognitiva iniciada en la década de 1960. Las teorías de la cognición se desprendieron de términos como reestructuración e *insight* [percepción/comprensión súbita], y se ha llegado a describir la nueva mente como la que extrae muestras aleatorias de fibras nerviosas, computa probabilidades, calcula análisis de varianza (ANOVA), establece criterios de decisión y realiza análisis de utilidad. Después de la institucionalización de la estadística inferencial, se reinterpretó una amplia gama de procesos cognitivos, conscientes e inconscientes, elementales y complejos, para afirmar que implicaban una "estadística intuitiva".[41]

Gigerenzer ofrece una periodización realista que es compatible con la adopción de técnicas estadísticas también en la investigación de las redes neuronales artificiales. Considerando el doctorado de Rosenblatt (1956) y su primer artículo sobre el Perceptrón (1957), la década de 1950 es sin duda el momento en que las herramientas estadísticas del análisis multidimensional dieron un salto interdisciplinario y se aplicaron a las redes neuronales artificiales y a la automatización del reconocimiento de patrones. Fue a través de ese camino que la psicometría entró en la historia de la IA y le impartió su mentalidad estadística.

Esos avances no nos sorprenden, considerando que, a principios del siglo, la psicología ya había intentado cuantificar la inteligencia humana de manera estadística. De hecho, la automatización de la inteligencia en el siglo XX fue el resultado de su medición en el siglo XIX, por el establecimiento de una metrología estándar de las capacidades cognitivas (como resolver un rompecabezas o reconocer una imagen) más que por el estudio de la lógica de la mente. Como observó el historiador de la ciencia Simon Schaffer:

[41] Gerd Gigerenzer, "From Tools to Theories: A Heuristic of Discovery in Cognitive Psychology", *Psychological Review* 98, N° 2, 1991: 258, 255.

> Desde la Ilustración, la neurología, la antropología y la fisiología han dependido a menudo de esas mediciones: el flujo de oxígeno, la frecuencia cardíaca, la actividad galvánica, los gráficos frenológicos, la termometría cerebral o —de manera más generalizada— la capacidad craneal, y todas ellas se han usado como indicadores de la actividad cerebral subyacente y, por lo tanto, de rango social y moral. Con razón los instrumentos utilizados para hacer esas mediciones después se convirtieron en la fuente de metáforas neurológicas. Pero este tipo de metrología cerebral abarca una historia más amplia que la que vincula la craneometría con estrategias más recientes de pruebas de inteligencia y psicometría.[42]

¿En qué medida es posible juzgar el desempeño de una máquina como "inteligente", es decir, conmensurable (medible en los mismos términos) con la inteligencia humana? A partir de la prueba de Turing, se ha juzgado a las máquinas como "inteligentes" comparando su comportamiento con las convenciones sociales. Los cibernéticos investigaron esta cuestión de otro modo, postulando un "mecanismo" común (sea lógico o fisiológico) entre los humanos y las máquinas. Pero en las décadas anteriores a la cibernética y a la informática, la psicometría ya había convertido a la inteligencia humana en un objeto cuantificable (y potencialmente computable). Por ejemplo, a principios del siglo XX, Spearman propuso la medición estadística de la "inteligencia general" (o factor *g*) como la correlación entre tareas no relacionadas en una prueba de aptitudes.[43] Para Spearman, esas correlaciones demostraban matemáticamente la existencia de una facultad cognitiva subyacente que el sentido común llamaría "inteligencia".[44] El análisis de Spearman se basaba en dos factores: la inteligencia general (*g*) y la aptitud específica (*s*). Unas décadas más tarde, Thurstone criticó a Spearman por haber reducido la inteligencia a solo dos factores y propuso la consideración de múltiples factores, enumerando hasta siete atributos de la inteligencia o

[42] Schaffer también observó que "el hecho de juzgar que las máquinas son inteligentes implicó técnicas para medir la salida del cerebro. Esas técnicas muestran que el comportamiento discrecional está conectado con el estatus de quienes dependen de la inteligencia para su legitimidad social". Simon Schaffer, "OK Computer", en *Ansichten der Wissenschaftsgeschichte*, ed. Michael Hagner, Frankfurt: Fischer, 2001, 393-429.

[43] "En 1904 Spearman [...] mostró que las pruebas de aptitud realizadas en niños tenían una elevada correlación. Concibió el método del análisis factorial en componentes principales, buscando, en el espacio vectorial constituido por esas pruebas, los ejes ortogonales que explicaban de manera sucesiva la varianza máxima del grupo de puntos correspondiente a los resultados de cada niño. Debido a la correlación entre las pruebas, el primero de esos ejes conservaba una parte importante de la varianza total. Era una especie de promedio de las diferentes pruebas. Spearman la llamó *inteligencia general, o factor g*". Alain Desrosières, *The Politics of Large Numbers: A History of Statistical Reasoning*, Cambridge, MA: Harvard University Press, 1998, 145.

[44] Charles Spearman, "General Intelligence: Objectively Determined and Measured", *American Journal of Psychology* 15, N° 2, 1904: 201-92.

"aptitudes mentales primarias".[45] Hubo entusiasmo por la flexibilidad de estas técnicas estadísticas que podían escalar potencialmente la cantidad de dimensiones y crear modelos de los aspectos más complejos de la mente. En 1935, Thurstone publicó un libro con un título visionario, *The Vectors of Mind* [Los vectores de la mente], que buscaba brindar a los estudiantes una introducción accesible al análisis de múltiples factores, acercando cada vez más la psicología a la mentalidad de la estadística.[46]

Esa medición cuantitativa de la inteligencia, abstraída de las circunstancias sociales y despojada de cualquier contexto histórico, apoyaba, sin embargo, un orden social meritocrático y ayudaba a consolidar, entre otras cosas, la práctica cuestionable de medir el cociente intelectual (CI). Esas técnicas eran, y siguen siendo, fundamentales para mantener las jerarquías sociales y la segregación racial, y disciplinar a la fuerza de trabajo. Debemos recordar que la pseudociencia de la psicometría fue fundada por el estadístico inglés Francis Galton con una agenda racista y eugenésica para demostrar una correlación entre inteligencia y origen étnico.[47] Quizás no sea una coincidencia que un sistema para discriminar matemáticamente entre seres humanos de diferentes clases y "razas" se haya usado después para equiparar a los humanos con las máquinas.

El factor *g* de Spearman contribuyó a la cosificación de la inteligencia como un nuevo "objeto" científico que podía medirse de manera estadística. Como ya se mencionó antes, Gigerenzer también observó un proceso similar de cosificación de una herramienta de investigación en un paradigma de pensamiento en el ámbito de la psicología, un proceso que define como "heurística de transición de la herramienta a la teoría".[48] Como observó, en la psicología de mediados del siglo XX, las "herramientas estadísticas" de la psicometría finalmente "se convirtieron en las teorías de la mente" en la psicología. Junto con Daniel Goldstein, Gigerenzer describió de qué manera la adopción de herramientas estadísticas popularizó gradualmente la metáfora computacional de la mente y aumentó su credibilidad. Según ambos académicos, fue específicamente la influencia de herramientas estadísticas como la teoría de prueba de hipótesis

[45] Alexander Beaujean y Nicholas Benson, "The One and the Many: Enduring Legacies of Spearman and Thurstone on Intelligence Test Score Interpretation", *Applied Measurement in Education* 32, N° 3, 2019: 198-215.

[46] Thurstone, *The Vectors of Mind*.

[47] Ver Stephen Jay Gould, *The Mismeasure of Man*, New York: Norton, 1981. Sobre la IA como tecnología de la blanquitud, ver también Yarden Katz, *Artificial Whiteness: Politics and Ideology in Artificial Intelligence*, New York: Columbia University Press, 2020. Sobre el subtexto racial del discurso de la automatización, ver Neda Atanasoski y Vora Kalindi, *Surrogate Humanity: Race, Robots, and the Politics of Technological Futures*, Durham, NC: Duke University Press, 2019.

[48] Gerd Gigerenzer, "From Tools to Theories: A Heuristic of Discovery in Cognitive Psychology", *Psychological Review* 98, N° 2, 1991: 258, 255.

de Neyman-Pearson y el análisis de la varianza (ANOVA) de Roland Fisher la que ayudó a consolidar la metáfora de la mente como una computadora durante la segunda mitad del siglo XX.[49]

La transformación de una herramienta de investigación en un modelo de la mente se ejemplifica también con el caso del Perceptrón, en el cual una técnica estadística se convirtió implícitamente en un modelo cerebral (y, en definitiva, en un modelo de conocimiento colectivo). La invención de las redes neuronales estadísticas implicaba, en su construcción, la "mente como un estadístico intuitivo" y, a la inversa, también convirtió a la estadística en el modelo de la nueva mente artificial.[50] Desde entonces, las herramientas estadísticas se transformaron no solo en un modelo de "inteligencia" en la psicología, sino también en un modelo de la "inteligencia artificial" en el desarrollo de la automatización del trabajo. Con el tiempo, toda una visión estadística del mundo y de la sociedad sufrió un proceso de automatización, por así decirlo, a medida que se normalizaba y naturalizaba cada vez más a través de la IA.

Hackear el espacio vectorial

En su libro *Perceptrons* [Perceptrones], de 1969, Marvin Minsky y Seymour Papert demostraron en términos matemáticos que el Perceptrón simple de Rosenblatt era incapaz de reconocer ciertos patrones y, de esa manera, cuestionaron su capacidad de generalización a otras tareas de la inteligencia humana.[51] En concreto, el libro argumentaba que ciertas imágenes, una vez proyectadas en el espacio multidimensional, no podían ser separadas linealmente por el Perceptrón simple: en particular, el Perceptrón no podía discriminar las figuras conectadas de las desconectadas. El teorema estaba ilustrado con imágenes de formas extrañas que podían llevar al Perceptrón a errar en la clasificación, y la tapa del libro presentaba dos espirales intrincadas que también podían engañar al ojo humano (si bien parecían idénticas a primera vista, una era continua y la otra estaba compuesta por dos espirales diferenciadas). En términos lógicos, el teorema explicaba que un Perceptrón reducido a solo dos neuronas de salida podía

[49] Gerd Gigerenzer y Daniel G. Goldstein, "Mind as Computer: Birth of a Metaphor", *Creativity Research Journal* 9, N°s 2-3, 1996: 138.

[50] Ibid.

[51] Marvin Minsky y Seymour Papert, *Perceptrons: An Introduction to Computational Geometry*, Cambridge, MA: MIT Press, 1969.

"aprender" las funciones lógicas Y, O y NO, pero no XO (O exclusivo), más compleja.[52]

Por primera vez, se "hackeaba" el espacio vectorial de una red neuronal artificial y quedaba expuesta su vulnerabilidad. Las conclusiones de Minsky y Papert eran correctas solo para los perceptrones más simples (que contaban con una sola capa de neuronas), pero fueron recibidas como válidas para todas las configuraciones de redes neuronales artificiales y tuvieron un efecto devastador sobre todo el campo de investigación. Eso inició el primer "invierno de la IA", que, en realidad, fue la imposición del "invierno del MIT" sobre otras comunidades de investigadores. La actitud de Minsky y Papert fue un poco autoritaria y recalcitrante: buscaron abiertamente desviar el financiamiento militar hacia el MIT —que no es exactamente una institución necesitada de fondos— y demostrar que las redes neuronales artificiales no constituían verdadera "inteligencia artificial", ya que otras técnicas revelarían el camino virtuoso para alcanzar ese objetivo. Debemos recordar que ya en su monografía de 1961, *Neurodynamics*, Rosenblatt proponía configuraciones diferentes de "perceptrones multicapa" que superarían esas limitaciones, pero no se pudo demostrar un teorema de convergencia y aún no se conocía un algoritmo de entrenamiento eficiente (como el descenso del gradiente). Sin embargo, como observó el científico de la computación Richard Forsyth, apenas dos años después de la publicación de *Perceptrons*, en 1971, se comprobó que "se podía enseñar a un Mark I Perceptrón simple, modificado para incorporar un registrador de expansión, para resolver el problema del O exclusivo", pero "no tuvo ningún efecto sobre la creencia generalizada entre los científicos de la computación acerca de que la neuroinformática era algo que se había intentado y había fracasado".[53]

Entre otros aspectos, Minsky y Papert observaron (al igual que Rosenblatt) que las redes neuronales artificiales no son capaces de distinguir bien entre figura y fondo: al computar el campo visual, cada punto adquiere de algún modo la misma prioridad, algo que no sucede con la visión humana. Eso pasa porque las redes neuronales artificiales no tienen incorporado el "concepto" de figura y fondo, que reemplazan con una distribución estadística de correlaciones (mientras que la relación figura-fondo implica un modelo de causalidad). El problema no desapareció con el aprendizaje profundo: se descubrió que grandes redes neuronales convolucionales como AlexNet, GoogleNet y ResNet-50 siguen conservando un sesgo con respecto a la textura en relación con la forma. Puede suceder que discriminen entre las imágenes de un elefante y un gato, por ejemplo, no según la forma, sino según la textura de la piel y el pelo, respectivamente. El sesgo de la textura sobre la forma se da porque incluso las redes neuronales convolucionales (que están diseñadas específicamente para extraer bordes, características y detalles) siguen computando una distribución estadística de todos los datos y no solo de sus partes "significativas" (como hace la mente humana, según la escuela de la Gestalt). Esto era aún más cierto en el caso de los perceptrones simples de Rosenblatt en ese entonces, pero este problema de resolución en la interpretación del conocimiento general se extiende probablemente también a los grandes modelos fundacionales como el GPT contemporáneo.[54]

Es posible argumentar que Minsky y Papert concibieron el primer método adversarial para hackear una "máquina inteligente" y diseñaron los correspondientes "parches adversariales", como se denominan en la actualidad: las imágenes trucadas que pueden engañar a las redes neuronales profundas para el reconocimiento de imágenes.[55] Como forma de hackeo fue muy exitosa, ya que logró desbaratar el financiamiento militar y la investigación sobre redes neuronales hasta fines de la década de 1980. Más allá de lo que está en juego en la polémica, Minsky y Papert no obstante contribuyeron a la crítica del paradigma del conocimiento que encarnan las redes neuronales artificiales y a la divulgación de las limitaciones de la modelización multidimensional.

Sin embargo, existe una tendencia en la comunidad de la IA, incluida en los estudios críticos, a tomar partido en la polémica de los "Perceptrones", utilizando puntos de vista y tradiciones filosóficas que alternativamente justificarían a la IA simbólica o a la conexionista como el paradigma más racional o progresista o como el más capaz de pensamiento causal. Otras interpretaciones fusionan ambas escuelas bajo la misma agenda instrumentalista de las fuerzas armadas y su genealogía de poder. Este libro propone un enfoque diferente, más bien procura estudiar y evaluar esos linajes de la IA desde la perspectiva (externalista) de la automatización del trabajo y no como un problema (internalista) de lógica

[52] Ya en 1960, Minsky expresaba en voz alta su escepticismo sobre las redes neuronales conectadas de manera aleatoria y la lógica de la autoorganización de las "asambleas celulares". Ver Marvin Minsky y Oliver Selfridge, *Learning in Random Nets*, vol. 46, MIT Lincoln Laboratory, 1960. El doctorado de Minsky versaba sobre las redes neuronales: "Neural Nets and the Brain Model Problem" [Las redes neuronales y el problema del modelo del cerebro], disertación de doctorado, Universidad de Princeton, 1954.

[53] Richard Forsyth, "The Strange Story of the Perceptron", *Artificial Intelligence Review* 4, N° 2, 1990: 147-55.

[54] El concepto de "imagen operativa" se ha usado recientemente para subrayar la dimensión no humana de esas "imágenes". Andreas Broeckmann, en particular, propuso definir esas imágenes como "cálculo óptico" también en el campo del aprendizaje automático. Sin embargo, las imágenes siguen siendo elementos complejos. Nunca son puramente retinianas, técnicas o lógicas, pero siempre son intrínsecamente sociales. Andreas Broeckmann, "Optical Calculus", Images beyond Control Conference, FAMU, Praga, 6 de noviembre de 2020.

[55] Tom Brown *et al.*, "Adversarial Patch", NIPS Workshop, 2017, arxiv.org.

computacional, realización de tareas y semejanza humana. Ni los algoritmos deductivos ni las técnicas estadísticas sobresalen en la imitación de la inteligencia humana, porque no hay lógica interna para descubrir en la inteligencia humana. Es posible estudiar y comparar la cognición humana y las tareas de la máquina porque la inteligencia, ya sea "natural" o "artificial", es extravertida, contextual y situada por constitución. Podemos percibir que las máquinas "piensan" porque imitan el teatro de lo humano.

El hecho de que el aprendizaje automático haya adoptado herramientas estadísticas es una contraprueba, en todo su controvertido legado, de que el algoritmo maestro de la "inteligencia general artificial", entendido como el sueño de la singularidad tecnológica y la *máquina alfa* por una amplia comunidad de ingenieros e informáticos, es precisamente una ilusión estadística proyectada por los datos. En otras palabras, el algoritmo maestro no existe como algoritmo, sino como una forma social originaria.

El cálculo social del conocimiento

En la década de 1980, en su libro *La máquina de visión*, el teórico francés Paul Virilio redescubriría el entonces poco conocido caso del Perceptrón como parte del espectro de proyectos industriales y militares para la "automatización de la percepción". Sin embargo, esos orígenes militares no deberían distraernos de ver al Perceptrón en la genealogía más amplia de la automatización del trabajo, el control social y el extractivismo del conocimiento. Junto con la conocida automatización del trabajo manual y mental, el Perceptrón fue pionero en la automatización de un tipo diferente de trabajo: el *trabajo de percepción* o *supervisión*. Esa es la tarea de las máquinas de vigilancia (*Maschinenarbeit*, según Marx), pero también de lugares de trabajo y líneas de montaje con una clara función disciplinaria cuando se realiza bajo la mirada de la autoridad, como dueños, guardias y policías. Como resumió el especialista en medios Jonathan Beller, "mirar es trabajar", y lo ha sido así durante mucho tiempo; pero "mirar es organizar el trabajo" también, y el ojo del amo lo ha estado haciendo todo el tiempo.[56] Muchas veces, medios ópticos como el cine y la fotografía han participado de la automatización de la mirada y la vigilancia del trabajo en el pasado, y experimentos con el reconocimiento de patrones como el Perceptrón

[56] Jonathan Beller, *The Cinematic Mode of Production: Attention Economy and the Society of the Spectacle*, Lebanon, NH: University Press of New England, 2006, 2.

no han hecho más que articular esos regímenes previos de visión artificial a una etapa más avanzada.

Como vimos en el capítulo 2, la era industrial buscaba la mecanización del trabajo manual con máquinas herramienta y motores a vapor, y, con Babbage, la mecanización del trabajo mental bajo la forma del cálculo manual y la manipulación de símbolos (que siguen siendo actividades bastante "manuales", como indican sus nombres). A mediados del siglo XX, las unidades centrales ampliaron la automatización del trabajo mental como cálculo y manipulación de símbolos en la administración estatal, las grandes compañías y la investigación científica. En comparación con esta historia, el trabajo de supervisión se mecanizó de forma diferente. Un aspecto novedoso del Perceptrón (y de los algoritmos de reconocimiento de patrones en general) reside en el hecho de que una máquina, por primera vez, buscó automatizar una facultad especulativa tan elevada como el acto de reconocer —es decir, interpretar— una imagen, en contraposición a la manipulación de símbolos de significado determinado. Rosenblatt definía al Perceptrón como una máquina para la "interpretación del entorno", argumentando que la "conceptualización del entorno es el primer paso hacia el pensamiento creativo", y en ese sentido, el Perceptrón puede realmente definirse también como una *máquina de interpretación*.[57]

En la jerga actual del aprendizaje automático, el Perceptrón es un *clasificador*, un algoritmo para discriminar de manera estadística entre imágenes y asignarlas a una clase o categoría (también conocida como "etiqueta") en una taxonomía cultural determinada. Este aspecto, quizás el más importante dentro de los clasificadores, no tiene nada que ver con su *lógica interna*, sino con la asociación de su salida con una *convención externa* que establece el significado de una imagen u otro símbolo en una cultura determinada. La teoría de la Gestalt, la cibernética y la IA simbólica pretendían identificar las *leyes internas* de la percepción, pero la característica clave de un clasificador como el Perceptrón es registrar *reglas externas*, es decir, convenciones sociales. En definitiva, una red neuronal artificial es una *máquina extravertida*, una máquina proyectada hacia el exterior, porque la interpretación de una imagen, por ejemplo, siempre se ve más afectada por la experiencia y los factores sociales externos que por los circuitos fisiológicos internos.

Un algoritmo de clasificación como el Perceptrón no automatiza el razonamiento entendido como una capacidad de *manipulación simbólica*, sino más

[57] Rosenblatt, "Two Theorems", 423-4. Para tener una comprensión contemporánea de las máquinas de interpretación, ver Larry Lohmann, "Interpretation Machines: Contradictions of Artificial Intelligence in 21st-Century Capitalism", *Socialist Register* 57, 2020.

bien como *conocimiento situado* que forma parte del patrimonio cultural de un contexto determinado. El acto de reconocer imágenes o clasificar patrones es un tipo específico de trabajo mental: es un acto profundamente social que moviliza, al mismo tiempo, conocimientos técnicos tácitos y explícitos, taxonomías científicas y tradicionales, y gramáticas vernáculas y técnicas; en resumen, la creación de conocimiento como un proceso histórico y a menudo conflictivo. A pesar de que la tarea industrial de supervisión de máquinas pueda estar altamente codificada, el reconocimiento de patrones "en la naturaleza" sigue siendo un gesto de interpretación abierta más que un procedimiento estricto basado en reglas. Por eso, una máquina diseñada para automatizar ese embrollo epistemológico (ver el proyecto de los vehículos autónomos) se encuentra, desde entonces y hasta ahora, con grandes dificultades. Además, los debates recientes sobre el sesgo de género, clase y raza en los sistemas de aprendizaje automático para el reconocimiento facial nos recuerda lo que los semióticos, los filósofos del lenguaje y los historiadores del arte siempre han sabido: que la interpretación de imágenes es un acto que tiene implicancias políticas irresolubles. En este sentido, Michael Castelle y Tyler Reigeluth, estudiosos críticos de la IA, propusieron comparar el aprendizaje automático con la teoría del aprendizaje como proceso social del psicólogo soviético Lev Vygotsky.[58] La estructura semiótica del clasificador, que básicamente es una *máquina de imitación*, confirma lo que argumentaba Vygotsky: que no hay ninguna lógica interna para descubrir en la inteligencia, porque la inteligencia es un proceso social por constitución.

En conclusión, el experimento inicial de Rosenblatt para automatizar el reconocimiento de patrones con una matriz pequeña de 400 dimensiones dio como resultado, después del diseño de las redes neuronales convolucionales en la década de 1980 y el surgimiento del aprendizaje profundo en la década de 2010, la modelización algorítmica de vastos inventarios de conocimiento espontáneo, comunicación de masas y patrimonio cultural. El Perceptrón fue un experimento de reconocimiento visual de patrones que, a partir de ahí, se extendió al análisis de datos no visuales, en un novedoso "reconocimiento de patrones" a través de conjuntos de datos de tipo cultural, social y científico. En la era del aprendizaje profundo, la arquitectura del Perceptrón multicapa terminó siendo no un modelo del cerebro biológico sino de la mente colectiva, expresando finalmente su ontología original moldeada por la psicometría. De

[58] Michael Castelle y Tyler Reigeluth, "What Type of Learning Is Machine Learning?", en *The Cultural Life of Machine Learning: An Incursion into Critical AI Studies*, ed. Michael Castelle y Jonathan Roberge, Berlin: Springer International Publishing, 2020.

hecho, quizás el momento más crucial de la historia de la IA es cuando, con el Perceptrón de Rosenblatt, las redes neuronales artificiales heredaron las técnicas del análisis multidimensional de la psicometría y la estadística. Eso no solo posibilitó el reconocimiento de patrones sino también la computación de datos de dimensiones más altas, una característica que llegaría a ser clave, medio siglo después, en la era de los "datos masivos". Como bien sabemos, el desafortunado término "datos masivos" se refiere a datos que no solo son grandes en cuanto a tamaño sino diversos en términos de tipología, lo que en estadística se denomina "dimensiones". En la actualidad, empresas como Google, Amazon, Facebook y Twitter, por ejemplo, recopilan datos que definen un amplio abanico de dimensiones sobre sus usuarios, como ubicación, edad, género, nacionalidad, idioma, nivel educativo, trabajo, número de contactos, junto con orientación política, intereses culturales, etcétera. La variedad de las dimensiones sociales que estas empresas de plataforma pueden analizar es vertiginosa y excede la imaginación de cualquier experto en estadística. De este modo, el surgimiento de los algoritmos de aprendizaje automático es también la respuesta a la *explosión de la dimensionalidad* de los datos sociales más que solo un problema de sobrecarga de información.

Finalmente, durante la década pasada, el aprendizaje automático creció para convertirse en una vasta *modelización algorítmica del conocimiento colectivo*, un "cálculo social" que busca codificar el comportamiento individual, la vida comunitaria y el patrimonio cultural bajo la forma de vastas arquitecturas de correlaciones estadísticas.[59] Eso ayudó a establecer un régimen monopólico de extractivismo del conocimiento a escala mundial y de nuevas técnicas para la automatización del trabajo y la gestión. Al igual que otros pocos artefactos de nuestra época, la IA llegó a ejemplificar una concentración única de poder como conocimiento.

[59] Sobre una cartografía general del proceso de producción de la IA, ver Matteo Pasquinelli y Vladan Joler, "The Nooscope Manifested: Artificial Intelligence as Instrument of Knowledge Extractivism", *AI and Society* 36, 2021, nooscope.ai.

Conclusión: La automatización de la inteligencia general

Queremos hacer las preguntas correctas. ¿Cómo funcionan las herramientas? ¿Quién las financia y las fabrica, cómo se usan? ¿A quién enriquecen y a quién empobrecen? ¿Qué futuros hacen viables y cuáles excluyen? No buscamos respuestas. Nos interesa la lógica.

Logic Magazine[1]

Vivimos en la era de los datos digitales, y en esa era las matemáticas se han convertido en el parlamento de la política. El derecho social se ha entrelazado con modelos, teoremas y algoritmos. Con los datos digitales, las matemáticas se han convertido en el medio dominante por el cual los seres humanos se coordinan con la tecnología [...]. Las matemáticas son, después de todo, una actividad humana. Al igual que cualquier otra actividad humana, conlleva las posibilidades tanto de la emancipación como de la opresión.

Politically Mathematics[2]

Para la investigación de las extintas formaciones económicas de la sociedad, las reliquias de los antiguos instrumentos de trabajo tienen la misma importancia que los huesos fósiles para la determinación de las especies animales extinguidas. Lo que distingue a las distintas épocas económicas no es lo que se fabrica, sino cómo y con qué instrumentos de trabajo. Los instrumentos de trabajo no solo proporcionan un estándar del grado de desarrollo que ha alcanzado el trabajo humano, sino que también señalan las relaciones sociales dentro de las cuales trabajan los hombres.

Karl Marx, *El capital*

[1] Ver "Disruption: A Manifesto", *Logic Magazine*, N° 1, marzo de 2017.
[2] Colectivo Politically Mathematics, "Politically Mathematics Manifesto", 2019, politicallymath.in.

En el futuro llegará un día en que la IA actual será considerada un arcaísmo, un fósil técnico para estudiar entre muchos otros. En el fragmento de *El capital* citado anteriormente, Marx sugirió una analogía similar que resuena con los estudios de la ciencia y la tecnología: del mismo modo en que los huesos fósiles revelan la naturaleza de especies antiguas y de los ecosistemas en los cuales habitaron, los artefactos técnicos revelarán también la forma de la sociedad que los rodea y los ejecuta. La analogía es relevante, me parece, para todas las máquinas y también para el aprendizaje automático, cuyos modelos abstractos en realidad codifican una concreción de relaciones sociales y comportamientos colectivos, como intentó demostrar este libro al reformular la teoría laboral decimonónica de la automatización para la era de la IA.

El libro empezó con una pregunta simple: ¿qué relación existe entre trabajo, reglas y automatización, es decir, la invención de nuevas tecnologías? Para responder esa pregunta, hemos visto prácticas, máquinas y algoritmos desde diferentes perspectivas: desde la dimensión "concreta" de la producción y la dimensión "abstracta" de disciplinas como las matemáticas y la informática. Sin embargo, la preocupación no ha sido repetir la separación de los dominios concreto y abstracto, sino ver su coevolución a lo largo de la historia: finalmente investigar el trabajo, las reglas y la automatización, de manera dialéctica, como *abstracciones materiales*. El capítulo 1 hacía hincapié en este aspecto, destacando cómo los rituales antiguos, las herramientas para contar y los "algoritmos sociales" contribuyeron a la elaboración de las ideas matemáticas. Afirmar, como hace la introducción, que el *trabajo es una actividad lógica* no es una forma de renunciar frente a la mentalidad de las máquinas industriales y los algoritmos corporativos, sino de reconocer que la praxis humana expresa su propia lógica (una *antilógica*, dirían algunos), una capacidad de especulación e invención, antes de que la capture y la aliene la tecnociencia.[3]

La tesis de que el trabajo tiene que volverse "mecánico" por sí mismo antes de que lo reemplace la maquinaria, es un viejo principio fundamental que simplemente se ha olvidado. Como se explicó en la primera parte, se remonta, por lo menos, a la primera exposición de Adam Smith en *La riqueza de las naciones* (1776), sobre la que Hegel también comentó ya en sus conferencias de Jena (1805-06). La idea de Hegel de *trabajo abstracto*, como trabajo que da *forma* a la maquinaria, ya estaba en deuda con la economía política británica antes de que Marx aportara su propia crítica radical del concepto. Sin embargo, como vimos

[3] Ver el debate sobre el proceso de trabajo: Harry Braverman, *Labor and Monopoly Capital: The Degradation of Work in the Twentieth Century*, New York: Monthly Review Press, 1974; David Noble, *Forces of Production: A Social History of Industrial Automation*, New York: Oxford University Press, 1984.

en el capítulo 2, recayó en Charles Babbage la tarea de sistematizar la idea de Adam Smith en una sólida *teoría laboral de la automatización*. Babbage complementó esa teoría con el *principio del cálculo del trabajo* (conocido desde entonces como el "principio de Babbage") para indicar que la división del trabajo también permite el cómputo preciso de los costos laborales. La primera parte de este libro puede considerarse como una exégesis de los dos *principios del análisis del trabajo* de Babbage, y su influencia sobre la historia común de la economía política, el cálculo automatizado y la inteligencia de las máquinas. Aunque suene anacrónico, la teoría de Marx sobre la automatización y la extracción de plusvalía relativa comparte postulados comunes con los primeros proyectos de inteligencia de las máquinas.

Marx dio vuelta la perspectiva industrialista —"el ojo del amo"— que era inherente a los principios de Babbage. En *El capital*, argumentó que las *relaciones sociales de producción* (la división del trabajo dentro del sistema de salarios) impulsan el desarrollo de los *medios de producción* (las máquinas herramienta, los motores a vapor, entre otros) y no al revés, como han estado afirmando de vez en cuando las interpretaciones tecnodeterministas, al centrar la Revolución Industrial únicamente en torno a la innovación tecnológica. Con respecto a estos principios del análisis del trabajo Marx hizo también algo más: consideró la cooperación del trabajo no solo como un principio para explicar el diseño de máquinas, sino también para definir la centralidad política de lo que él llamaba el *Gesamtarbeiter*, el *trabajador colectivo*. La figura del trabajador colectivo era una manera de reconocer la dimensión maquínica del trabajo vivo y enfrentarse al "gran autómata" de la fábrica industrial en la misma escala de complejidad. Finalmente, también fue una figura necesaria para fundamentar, sobre una política más sólida, la idea ambivalente del *intelecto general* que sostenían algunos socialistas ricardianos como William Thompson y Thomas Hodgskin, como hemos visto en el capítulo 4.

De las líneas de montaje al reconocimiento de patrones

Este libro ha brindado una historia en expansión de la división del trabajo y sus criterios de medición como una manera de identificar el principio operativo de la IA a largo plazo. Como hemos visto, a fines del siglo XIX, cuanto más se extendía la división del trabajo en un mundo globalizado, más problemática se iba haciendo su gestión, que requería de nuevas técnicas de comunicación, control e "inteligencia". Si bien, dentro de la fábrica, la gestión del trabajo todavía podía ser representada con un simple diagrama de flujo y medido con

un reloj, era muy complicado visualizar y cuantificar lo que Émile Durkheim, ya en 1893 definió como "la división social del trabajo".[4] La "inteligencia" del dueño de la fábrica ya no podía supervisar todo el proceso de producción de un solo vistazo; ahora, solo las infraestructuras de comunicación podían asumir ese papel de supervisión y cuantificación. Los nuevos medios de comunicación de masas, como el telégrafo, el teléfono, la radio y los canales de televisión posibilitaron la comunicación entre países y continentes, pero también abrieron nuevas perspectivas sobre la sociedad y el comportamiento colectivo. Como vimos en el capítulo 5, James Beniger describió acertadamente el surgimiento de las tecnologías de la información como una "revolución del control", que demostró ser necesaria en ese período para gobernar el auge económico y el superávit comercial del Norte Global. Después de la Segunda Guerra Mundial, el control de esta logística ampliada se convirtió en la preocupación de una nueva disciplina de las fuerzas armadas que unió las matemáticas con la gestión: la investigación de operaciones. Sin embargo, debemos considerar que también las transformaciones de la clase trabajadora dentro de cada país y a nivel internacional, marcadas por ciclos de conflictos urbanos y luchas de descolonización, estuvieron entre los factores que impulsaron el surgimiento de estas nuevas tecnologías de control. El capítulo 6 se preocupó por rastrear la coincidencia histórica entre los proyectos cibernéticos de autoorganización y el impulso social hacia la autoorganización después de la Segunda Guerra Mundial, ejemplificada por los movimientos contraculturales y antiautoritarios.

El cambio de escala de la composición del trabajo al pasar del siglo XIX al XX también afectó la *lógica de la automatización* o los paradigmas científicos implicados en esta transformación. La relativamente sencilla división industrial del trabajo y sus líneas de montaje rectilíneas en apariencia podían compararse sin dificultad con un *algoritmo* simple, un procedimiento basado en reglas con una estructura "si/entonces" que tiene su equivalente en la forma lógica de la *deducción*. No es coincidencia que la deducción sea la forma lógica que, a través de Leibniz, Babbage, Shannon y Turing, inervó la computación electromecánica y, finalmente, la IA simbólica. La lógica deductiva es útil para crear modelos de procesos simples, pero no sistemas con una multiplicidad de agentes autónomos, como la sociedad, el mercado o el cerebro. En esos casos, la lógica deductiva es inadecuada porque haría estallar cualquier procedimiento, máquina o algoritmo en un número exponencial de instrucciones (ver capítulo 7). Debido a preocupaciones similares, la cibernética empezó a investigar la autoorganización de los seres vivos y las máquinas para simular orden en sistemas de alta complejidad que no podían organizarse fácilmente de acuerdo con métodos jerárquicos y centralizados. Esa fue la lógica fundamental detrás del conexionismo y las redes neuronales artificiales (como se mencionó en el capítulo 9) y también las primeras investigaciones sobre redes distribuidas de comunicación como Arpanet (progenitora de la internet).

[4] Ver Émile Durkheim, *De la division du travail social*, Paris: Félix Alcan, 1893, traducido como *The Division of Labor in Society*, New York: Free Press, 1984.

A lo largo del siglo XX, muchas otras disciplinas registraron la creciente complejidad de las relaciones sociales. Por ejemplo, los conceptos gemelos de *Gestalt* y *patrón*, empleados, respectivamente, por Kurt Lewin y Friedrich Hayek, y descritos previamente en este libro, fueron un ejemplo de cómo la psicología y la economía respondieron a la nueva composición de la sociedad. Lewin introdujo conceptos holísticos como *campo de fuerza* y *espacio hodológico* para cartografiar dinámicas de grupo a diferentes escalas entre el individuo y la sociedad de masas.[5] Mientras tanto, como vimos en el capítulo 8, Hayek se apropió de la dispar idea de patrón para esbozar una teoría del mercado y de la mente basada en el individualismo radical.

El pensamiento francés ha sido muy fértil y progresista en este sentido. Por ejemplo, los filósofos Gaston Bachelard y Henri Lefebvre propusieron el método de *ritmanálisis*, como un estudio de los ritmos sociales en el espacio urbano (que Lefebvre describió según las cuatro tipologías de arritmia, polirritmia, euritmia, isorritmia).[6] De manera similar, la arqueología francesa se dedicó al estudio de formas ampliadas de comportamiento social en las civilizaciones antiguas. Por ejemplo, el paleoantropólogo André Leroi-Gourhan, junto con otros, introdujo la idea de la cadena operativa (*chaîne opératoire*) para explicar la manera en que los humanos prehistóricos fabricaban utensilios.[7] En el punto culminante de esta larga tradición de *diagramatización* de los comportamientos sociales en el pensamiento francés, Gilles Deleuze escribió su famoso texto "Postdata sobre las sociedades de control", que declaraba que el poder

[5] Ver Kurt Lewin, "Die Sozialisierung des Taylorsystems: Eine grundsätzliche Untersuchung zur Arbeits und Berufspsychologie", *Schriftenreihe Praktischer Sozialismus*, vol. 4, Berlin: 1920. Ver también Simon Schaupp, "Taylorismus oder Kybernetik? Eine kurze ideengeschichte der algorithmischen arbeitssteuerung", *wsi-Mitteilungen* 73, N° 3, 2020: 201-208.

[6] Gaston Bachelard, *La dialectique de la durée*, Paris: Boivin & Cie, 1936, traducido al inglés como *The Dialectic of Duration*, New York: Rowman & Littlefield, 2016; Henri Lefebvre, Éléments de rythmanalyse, Paris: Éditions Syllepse, 1992, traducido como *Rhythmanalysis: Space, Time and Everyday Life*, London: Continuum, 2004. Bachelard tomó el término "ritmanálisis" del filósofo portugués Lucio Alberto Pinheiro dos Santos.

[7] Ver Frederic Sellet, "Chaîne opératoire: The Concept and Its Applications", *Lithic Technology* 18, N°s 1-2, 1993: 106-12.

ya no se ocupaba de la disciplina de los individuos sino del control de los *dividuos*, es decir, de los fragmentos de un cuerpo ampliado y deconstruido.[8]

Los campos de fuerza de Lewin, los ritmos urbanos de Lefebvre y los dividuos de Deleuze pueden verse como predicciones de los principios del *gobierno por algoritmos* que se han establecido con la sociedad red y sus vastos centros de datos desde fines de la década de 1990. El lanzamiento del algoritmo PageRank de Google en 1998 —un método para organizar y buscar en el caótico hipertexto de la web— se considera, por convención, la primera elaboración a gran escala de "datos masivos" a partir de las redes digitales.[9] Estas técnicas para cartografiar la red ahora son omnipresentes: por ejemplo, Facebook usa el protocolo Open Graph para cuantificar las redes de relaciones humanas que alimentan la economía de la atención de su plataforma.[10] Las fuerzas armadas estadounidenses han estado usando sus propias y controvertidas técnicas de *análisis de patrones de vida* para cartografiar redes sociales en zonas de guerra e identificar objetivos para ataques con drones que, como ya se sabe, han matado a civiles inocentes.[11] Más recientemente, las plataformas de la economía de pequeños encargos [*gig economy*] y los gigantes de la logística como Uber, Deliveroo, Wolt y Amazon empezaron a rastrear su flota de repartidores y conductores a través de aplicaciones de geolocalización.[12] Todas esas técnicas forman parte del nuevo campo de la "analítica de personas" (también conocida como "física social" o "psicografía"), que no es más que la aplicación de la estadística, el análisis de datos y el aprendizaje automático al problema de la fuerza de trabajo en la sociedad posindustrial.[13]

[8] Gilles Deleuze, "Postscript on the Society of Control", October 59, 1992; David Savat, "Deleuze's Objectile: From Discipline to Modulation", en *Deleuze and New Technology*, ed. Mark Poster and David Savat, Edinburgh: Edinburgh University Press, 2009.

[9] Matthew L. Jones, "Querying the Archive: Data Mining from Apriori to PageRank", en *Science in the Archives*, ed. Lorraine Daston, Chicago: University of Chicago Press, 2017; Matteo Pasquinelli, "Google's PageRank Algorithm: A Diagram of Cognitive Capitalism and the Rentier of the Common Intellect", en *Deep Search*, ed. Konrad Becker and Felix Stalder, London: Transaction Publishers: 2009.

[10] Irina Kaldrack y Theo Röhle, "Divide and Share: Taxonomies, Orders, and Masses in Facebook's Open Graph", *Computational Culture* 4 (noviembre de 2014); Tiziana Terranova, "Securing the Social: Foucault and Social Networks", en *Foucault and the History of Our Present*, ed. S. Fuggle, Y. Lanci y M. Tazzioli, London: Palgrave Macmillan, 2015.

[11] Grégoire Chamayou, *A Theory of the Drone*, New York: New Press, 2014, cap. 5: "Pattern-of-Life Analysis". Ver también Matteo Pasquinelli, "Metadata Society", palabra clave en *Posthuman Glossary*, ed. Rosi Braidotti y Maria Hlavajova, London: Bloomsbury, 2018; Matteo Pasquinelli, "Arcana Mathematica Imperii: The Evolution of Western Computational Norms", en *Former West*, ed. Maria Hlavajova y Simon Sheikh, Cambridge, MA: MIT Press, 2017.

[12] Andrea Brighenti y Andrea Pavoni, "On Urban Trajectology: Algorithmic Mobilities and Atmocultural Navigation", *Distinktion: Journal of Social Theory* 24, N° 1, 2001: 40-63.

[13] L. M. Giermindl *et al.*, "The Dark Sides of People Analytics: Reviewing the Perils for Organisations and Employees", *European Journal of Information Systems* 33, N° 3, 2022: 410-435. Ver también Alex Pentland, *Social Physics: How Social Networks Can Make Us Smarter*, London: Penguin, 2015.

La automatización de la psicometría o inteligencia genera

Si conceptos atractivos como "patrón", "Gestalt" o "modelo" no se sitúan en una perspectiva económica (una oportunidad que Hayek, por ejemplo, no perdió), su utilización podría volverse fácilmente un ejercicio culturalista autorreferencial. La división del trabajo tanto como el diseño de máquinas y algoritmos no son formas abstractas *per se*, sino medios para medir el trabajo y los comportamientos sociales y discriminar personas según su capacidad productiva. Como indican los principios de Babbage descritos en el capítulo 2, cualquier división del trabajo conlleva criterios de medición: una medición del rendimiento y la eficiencia de los trabajadores, pero también un juicio sobre clases de habilidades, que implica una jerarquía social implícita. Los criterios de medición del trabajo se introdujeron para evaluar qué es productivo y qué no, para manipular una asimetría social mientras se declara una equivalencia con el sistema monetario. Durante la era moderna, las fábricas, los cuarteles y los hospitales han buscado una disciplina y organización de cuerpos y mentes con métodos similares, como percibió Michel Foucault entre otros.

A fines del siglo XIX, la metrología del trabajo y el comportamiento encontró un aliado en un nuevo campo de la estadística: la psicometría. La psicometría tenía el propósito de medir la habilidad de la población para resolver tareas básicas, haciendo comparaciones estadísticas por medio de pruebas cognitivas en lugar de medir el rendimiento físico, como se hacía anteriormente en el campo de la psicofísica.[14] Como parte del polémico legado de Alfred Binet, Charles Spearman y Louis Thurstone, la psicometría puede considerarse como una de las genealogías principales de la estadística, que nunca fue una disciplina neutral sino más bien una disciplina preocupada por la "medida del hombre", las instituciones de las normas de comportamiento y la represión de las anormalidades.[15] La transformación de los criterios de medición del trabajo en la

[14] Originalmente, la palabra "estadística" significaba el conocimiento que un Estado poseía sobre sus propios asuntos y territorios: un conocimiento que había que mantener en secreto. Michel Foucault, *Security, Territory, Population: Lectures at the Collège de France 1977-1978*, trad. Graham Burchell, London: Palgrave Macmillan, 2009, 274.

[15] Sobre la influencia de la metrología del cerebro en la historia de la IA, ver Simon Schaffer: "El hecho de juzgar que las máquinas son inteligentes implicó técnicas para medir la salida del cerebro. Esas técnicas muestran que el comportamiento discrecional está conectado con el estatus de quienes dependen de la inteligencia para su legitimidad social". Simon Schaffer, "OK Computer", en *Ansichten der Wissenschaftsgeschichte*, ed. Michael Hagner, Frankfurt: Fischer, 2001, 393-429. Sobre la primitiva metrología del sistema nervioso, ver Henning Schmidgen, *The Helmholtz Curves: Tracing Lost Times*, New York: Fordham University Press, 2014.

psicometría del trabajo es un pasaje clave tanto para la gestión como para el desarrollo tecnológico en el siglo XX. Es revelador, como vimos en el capítulo 9, que Frank Rosenblatt, al diseñar la primera red neuronal artificial Perceptrón, no solo se inspiró en las teorías de la neuroplasticidad, sino también en las herramientas del análisis con múltiples variables que la psicometría introdujo en la psicología estadounidense en la década de 1950.

Desde esta perspectiva, este libro procuró aclarar cómo el proyecto de la IA surgió en realidad de la automatización de la psicometría del trabajo y los comportamientos sociales, más que de la búsqueda de una solución al "enigma" de la inteligencia. En un resumen conciso de la historia de la IA, podríamos decir que la mecanización del "intelecto general" de la era industrial en la "inteligencia artificial" del siglo XX fue posible gracias a la medición estadística de las habilidades, como el factor de "inteligencia general" de Spearman y su posterior automatización en redes neuronales artificiales. Si en la era industrial se consideraba a la máquina como una encarnación de la ciencia, el conocimiento y el "intelecto general" de los trabajadores, en la era de la información, las redes neuronales artificiales se convirtieron en la primera máquina que codificó la "inteligencia general" en herramientas estadísticas; al principio, específicamente, para automatizar el reconocimiento de patrones como una de las tareas clave de la "inteligencia artificial". En resumen, la forma actual de la IA, el aprendizaje automático, es la automatización de los criterios de medición estadísticos que fueron introducidos originalmente para cuantificar habilidades cognitivas, sociales y relativas al trabajo. La aplicación de la psicometría a través de las tecnologías de la información no es un fenómeno único del aprendizaje automático. El escándalo de los datos Facebook-Cambridge Analytica de 2018, en el cual se le permitió a la empresa consultora recolectar datos personales de millones de personas sin su consentimiento, es un recordatorio de cómo agentes empresariales y estatales siguen usando la psicometría a gran escala con la intención de predecir y manipular comportamientos colectivos.[16]

Dado que descienden de las herramientas estadísticas de la biometría del siglo XIX, tampoco nos sorprende que las redes neuronales artificiales profundas se hayan transformado recientemente en técnicas avanzadas de vigilancia, como el reconocimiento facial y el análisis de patrones de vida. Estudiosos críticos de la IA, como Ruha Benjamin y Wendy Chun, entre otros, expusieron los orígenes racistas de esas técnicas de identificación y evaluación por perfil que, al igual que la psicometría, casi representan una prueba técnica del sesgo

[16] Luke Stark, "Algorithmic Psychometrics and the Scalable Subject", *Social Studies of Science* 48, N° 2, 2018: 204-31.

social de la IA.[17] Identificaron correctamente el poder de la discriminación en el corazón del aprendizaje automático, y cómo eso lo alinea con los aparatos de la normatividad de la era moderna, incluyendo las cuestionables taxonomías de la medicina, la psiquiatría y el derecho penal.[18]

La metrología de la inteligencia que fue pionera a fines del siglo XIX, con su agenda implícita y explícita de segregación social y racial, sigue funcionando en el centro de la IA para disciplinar el trabajo y replicar jerarquías productivas de conocimiento. Por lo tanto, la lógica de la IA no es solo la automatización del trabajo sino el refuerzo de esas jerarquías sociales de manera indirecta. Al declarar de manera implícita qué se puede automatizar y qué no, la IA impuso nuevos criterios de medición de la inteligencia en cada etapa de su desarrollo. Pero comparar la inteligencia humana y la de las máquinas también implica hacer un juicio sobre qué comportamiento humano o grupo social es más inteligente que otro, cuáles trabajadores pueden reemplazarse y cuáles no. En definitiva, la IA no es solo una herramienta para automatizar el trabajo sino también para imponer estándares de *inteligencia mecánica* que propagan, de manera más o menos invisible, las jerarquías sociales del conocimiento y la habilidad. Al igual que con cualquier forma de automatización, la IA no reemplaza simplemente a los trabajadores, sino que los desplaza y reestructura en un nuevo orden social.

La automatización de la automatización

Si observamos con cuidado cómo las herramientas estadísticas que se concibieron para calificar las habilidades cognitivas y discriminar la productividad de las personas se convirtieron en algoritmos, se vuelve evidente un aspecto más profundo de la automatización. De hecho, el estudio de la metrología del trabajo y el comportamiento revela que la automatización surge en algunos casos de la transformación de los propios instrumentos de medición en tecnologías cinéticas. Herramientas para la cuantificación del trabajo y la discriminación social se convirtieron en "robots" por derecho propio. Antes de la psicometría, podíamos hacer referencia a cómo el reloj, utilizado para medir el tiempo de trabajo en la fábrica, posteriormente fue implementado por

[17] Ruha Benjamin, *Race after Technology: Abolitionist Tools for the New Jim Code*, Cambridge: Polity, 2019; Wendy Chun, *Discriminating Data: Correlation, Neighborhoods, and the New Politics of Recognition*, Cambridge, MA: MIT Press, 2021.

[18] Sobre la imbricación del colonialismo, el racismo y las tecnologías digitales, ver Jonathan Beller, *The World Computer: Derivative Conditions of Racial Capitalism*, Durham, NC: Duke University Press, 2021; Seb Franklin, *The Digitally Disposed: Racial Capitalism and the Informatics of Value*, Minneapolis: University of Minnesota Press, 2021.

Babbage para la automatización del trabajo mental en la máquina diferencial (ver capítulo 2). Algunos cibernéticos como Norbert Wiener seguían considerando al reloj como el modelo clave tanto para el cerebro como para la computadora. En este sentido, el historiador de la ciencia Henning Schmidgen observó cómo la cronometría de los estímulos nerviosos contribuyó a la consolidación de la metrología del cerebro y también del modelo de redes neuronales de McCulloch y Pitts.[19] La teoría de la automatización que ha descrito este libro, por lo tanto, no solo apunta al surgimiento de las máquinas a partir de la lógica de la gestión del trabajo, sino también de los instrumentos y los criterios de medición para cuantificar la vida humana en general y hacerla productiva.

Este libro se propuso mostrar que la IA es la culminación de la larga evolución de la automatización del trabajo y la cuantificación de la sociedad. Los modelos estadísticos del aprendizaje automático, en realidad, no parecen ser radicalmente diferentes, sino más bien homólogos al diseño de las máquinas industriales: sin duda, están constituidos por la misma inteligencia analítica de las tareas y los comportamientos colectivos, aunque con un grado superior de complejidad (es decir, cantidad de parámetros). Al igual que las máquinas industriales cuyo diseño surgió poco a poco de las tareas rutinarias y los ajustes por prueba y error, los algoritmos de aprendizaje automático adaptan su modelo interno a los patrones de los datos de entrenamiento a través de un proceso comparable de prueba y error. Puede decirse que tanto el *diseño* de una máquina como el *modelo* de un algoritmo estadístico siguen una lógica similar: ambos se basan en la imitación de una configuración externa de espacio, tiempo, relaciones y operaciones. En la historia de la IA, eso se verifica tanto en el Perceptrón de Rosenblatt (cuyo objetivo era registrar los movimientos de la mirada y las relaciones espaciales del campo visual) como en cualquier otro algoritmo de aprendizaje automático actual (por ejemplo, las máquinas de vectores de soporte, las redes bayesianas o los modelos de transformadores).

Si bien la máquina industrial representa el diagrama de la división del trabajo de una manera determinada (piensen en los componentes y los limitados "grados de libertad" de un telar textil, un torno o una excavadora minera), los algoritmos de aprendizaje automático (en especial, los modelos recientes de IA con una enorme cantidad de parámetros) pueden imitar actividades humanas complejas.[20] A pesar de tener niveles problemáticos de aproximación y sesgo, un modelo de aprendizaje automático es un artefacto adaptativo que puede codificar y reproducir las más diversas configuraciones de tareas. Por ejemplo, el mismo modelo de aprendizaje automático puede emular el movimiento de brazos robóticos en líneas de montaje y también las operaciones de un conductor en un vehículo autónomo; el mismo modelo también puede traducir entre lenguajes y además describir imágenes con palabras coloquiales.

El surgimiento de grandes modelos fundacionales en los últimos años (por ejemplo, BERT, GPT, CLIP, Codex) demuestra cómo un solo algoritmo de aprendizaje profundo puede ser entrenado con un enorme conjunto de datos integrado (compuesto de texto, imágenes, lenguaje hablado, datos estructurados y señales 3D) y usarse para automatizar un amplio rango de tareas posteriores (responder preguntas, análisis de sentimientos, extracción de información, generación de texto, descripción automática de imágenes, generación de imágenes, transferencia de estilo, reconocimiento de objetos, ejecución de instrucciones, etc.).[21] Por la manera en que se construyeron sobre grandes repositorios de patrimonio cultural, conocimiento colectivo y datos sociales, los grandes modelos fundacionales son la aproximación más cercana a la mecanización del "intelecto general" que se preveía en la era industrial. Un aspecto importante del aprendizaje automático que demuestran los modelos fundacionales es que la automatización de tareas individuales, la codificación del patrimonio cultural y el análisis de comportamientos sociales no tienen distinción técnica: pueden realizarse mediante el mismo proceso de modelización estadística.

En conclusión, es posible ver el aprendizaje automático como el proyecto para automatizar el propio proceso de diseño de máquinas y creación de modelos, es decir, la automatización de la mismísima teoría laboral de la automatización. En este sentido, el aprendizaje automático y, específicamente, los grandes modelos fundacionales representan una nueva definición de la Máquina Universal, ya que su capacidad no se limita a realizar tareas computacionales, sino que imita el trabajo y los comportamientos colectivos en general. Por lo tanto, el avance que representa el aprendizaje automático no es solo la "automatización de la estadística", como se describe muchas veces al aprendizaje automático, sino la *automatización de la automatización*, al llevar este proceso a

[19] Henning Schmidgen, "Cybernetic Times: Norbert Wiener, John Stroud, and the 'Brain Clock' Hypothesis", *History of the Human Sciences* 33, N° 1, 2020, 80-108. Sobre la cibernética y la "medición de la racionalidad", ver Orit Halpern, *Beautiful Data: A History of Vision and Reason since 1945*, Durham, NC: Duke University Press, 2015, 173.

[20] En mecánica, los grados de libertad de un sistema como una máquina, un robot o un vehículo es el número de parámetros independientes que definen su configuración o estado. Se dice que las bicicletas tienen dos grados de libertad. Un brazo robótico puede tener muchos. Un modelo de aprendizaje automático grande como GPT puede tener más de un billón.

[21] Rishi Bommasani *et al.*, *On the Opportunities and Risks of Foundation Models*, Center for Research on Foundation Models at the Stanford Institute for Human Centered Artificial Intelligence, 2021, crfm.stanford.edu.

la escala del conocimiento colectivo y el patrimonio cultural.[22] Además, el aprendizaje automático puede considerarse como la prueba técnica de la integración gradual de la automatización del trabajo con la gobernanza social. Los modelos de aprendizaje automático, surgidos de la imitación de la división del trabajo y la psicometría, evolucionaron gradualmente hacia un paradigma integrado de gobernanza que ejemplifican muy bien el análisis de datos corporativos y sus vastos centros de datos.

A esta altura del análisis, es importante mencionar que hay límites intrínsecos que afectan la forma actual del aprendizaje automático. En un artículo publicado en septiembre de 2021, Neil Thompson y otros informáticos argumentan que las técnicas de corrección de errores del aprendizaje profundo llegaron a un límite computacional y son incapaces de crecer sin pagar costos exorbitantes de energía y recursos de *hardware* que ni siquiera las grandes corporaciones podrían afrontar en lo inmediato.[23] El problema de la explosión computacional, que reaparece de manera cíclica en la historia de la IA, esta vez afecta a las redes neuronales artificiales. Estas conclusiones, que pueden generalizarse para otros algoritmos y técnicas de corrección de errores, prueban de manera simultánea que la "explosión de inteligencia" de la IA es un espejismo. Como tal, cuando la teoría crítica se empeña en descubrir con campañas caricaturescas la "inteligencia alienígena" oculta en la caja negra de la IA, muchas veces pasa por alto este límite lógico. Lo que los expertos perciben como "inteligencia alienígena" es, para decirlo de una manera más prosaica, el juego de correlaciones estadísticas a una escala muy grande. No hay ninguna prueba de un fenómeno de "singularidad" en este juego de correlaciones y, dadas sus limitaciones computacionales, la IA actual no presenta ningún riesgo de convertirse en la "superinteligencia" malévola sobre la que ha advertido el académico de Oxford Nick Bostrom.

[22] Sobre una interpretación diferente de la automatización de la automatización, ver Pedro Domingos, *The Master Algorithm: How the Quest for the Ultimate Learning Machine Will Remake Our World*, New York: Basic Books, 2015; Luciana Parisi, "Critical Computation: Digital Automata and General Artificial Thinking", *Theory, Culture, and Society* 36, N° 2 (marzo de 2019): 89-121.

[23] Neil Thompson et al., "Deep Learning's Diminishing Returns", *IEEE Spectrum* (24 septiembre de 2021), spectrum.ieee.org; Neil Thompson *et al.*, "The Computational Limits of Deep Learning" (10 de julio de 2020), preprint, arxiv.org.

Deshacer el algoritmo maestro

Dados el tamaño creciente de los conjuntos de datos, los costos de entrenamiento de los grandes modelos y el monopolio de la infraestructura en la nube necesaria para alojar esos modelos por parte de unas pocas empresas, como Amazon, Google y Microsoft (y sus contrapartes asiáticas Alibaba y Tencent), se ha vuelto evidente para todos que la soberanía de la IA sigue siendo un asunto complicado, de escala geopolítica. Además, la confluencia de diferentes aparatos de gobernanza (la climatología, la logística global e incluso la asistencia sanitaria) hacia el mismo *hardware* (computación en la nube) y *software* (aprendizaje automático) señala una tendencia aún más fuerte hacia la monopolización. Aparte de la consabida cuestión de la acumulación de poder, el surgimiento de los monopolios de datos apunta a un fenómeno de convergencia técnica que es clave en este libro: los medios de trabajo se han convertido en los mismos de la medición del trabajo y, del mismo modo, los medios de gestión y logística se han convertido en los mismos de la planificación económica.

Eso se hizo evidente también durante la reciente pandemia del Covid-19, en que se estableció una gran infraestructura para rastrear, medir y predecir comportamientos sociales.[24] Sin embargo, esta infraestructura, sin precedentes en la historia de la asistencia sanitaria y la biopolítica, no fue creada *ex nihilo*, sino que se construyó sobre plataformas digitales existentes que orquestan la mayoría de nuestras relaciones sociales. En particular, durante las cuarentenas, se usó el mismo medio digital para trabajar, hacer compras, comunicarse con amigos y familiares y, en algún momento, con la asistencia sanitaria. Los criterios de medición digital del cuerpo social, tales como la geolocalización y otros metadatos, fueron claves para los modelos predictivos del contagio mundial, pero se han estado usando hace tiempo para rastrear el trabajo, la logística, el comercio y la educación. Algunos filósofos, como Giorgio Agamben, afirmaron que esta infraestructura prolongó el estado de emergencia de la pandemia, cuando en realidad su despliegue sanitario y biopolítico solo prosigue décadas de control de la productividad económica del cuerpo social que pasó desapercibido para muchos.[25]

[24] Ver "Breaking Models: Data Governance and New Metrics of Knowledge in the Time of the Pandemics", taller, Instituto Max Planck para la Historia de la Ciencia, Berlín, y KIM, grupo de investigación, Universidad de Artes y Diseño de Karlsruhe (24 de septiembre de 2021), kim.hfg-karlsruhe.de/breaking-models.

[25] Giorgio Agamben, *Where Are We Now? The Epidemic as Politics*, trad. V. Dani, Lanham, MA: Rowman & Littlefield, 2021.

La convergencia técnica de las infraestructuras de datos revela también que la automatización contemporánea no consiste únicamente en la automatización de un trabajador individual, como la imagen estereotipada del robot humanoide, sino en la automatización de los dueños y gerentes de la fábrica, como ocurre en las plataformas de la economía de pequeños encargos [*gig economy*]. Desde los gigantes logísticos (Amazon, Alibaba, DHL, UPS, etc.) y de la movilidad (Uber, Share Now, Foodora, Deliveroo) a las redes sociales (Facebook, TikTok, Twitter), el capitalismo de plataforma es una forma de automatización que, en realidad, no reemplaza a los trabajadores sino que los multiplica y los gobierna de nuevo. Esta vez no tiene tanto que ver con la automatización del trabajo, sino con la automatización de la gestión. Bajo esta nueva forma de *gestión algorítmica*, todos nos transformamos en *trabajadores dividuales* de un enorme autómata compuesto por usuarios globales, trabajadores de Amazon Mechanical Turk o *turkers*, cuidadores, conductores y repartidores de todo tipo. El debate sobre el temor a que la IA sustituya por completo los puestos de trabajo está equivocado: en la llamada economía de plataformas, en realidad, los algoritmos reemplazan la gestión y multiplican los empleos precarios. A pesar de que los ingresos de la economía de pequeños encargos [*gig economy*] siguen siendo minoritarios con respecto a los sectores locales tradicionales, al usar la misma infraestructura en todo el mundo estas plataformas establecieron posiciones monopólicas. En conclusión, el poder del nuevo "amo" no tiene que ver con la automatización de las tareas individuales, sino con la gestión de la división social del trabajo. En contra de la predicción de Alan Turing, fue al amo, al dueño, no al trabajador, al que vino a reemplazar primero el robot.[26]

Nos preguntamos cuál sería la probabilidad de intervención política en ese espacio tecnológicamente integrado y si el llamamiento a "rediseñar la IA" por el que abogan las iniciativas de base e institucionales es razonable o factible. Este llamamiento debería responder primero una pregunta más acuciante: ¿cómo es posible "rediseñar" grandes monopolios de datos y conocimiento?[27] Mientras grandes empresas, como Amazon, Walmart y Google, conquistan un acceso único a las necesidades y problemas de todo el cuerpo social, un movimiento creciente no solo pide que esas infraestructuras sean más transparentes

[26] Ver Min Kyung Lee *et al.*, "Working with Machines: The Impact of Algorithmic and Data-Driven Management on Human Workers", en *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*, Association for Computing Machinery, New York, 2015; Sarah O'Connor, "When Your Boss Is an Algorithm", *Financial Times*, 8 de septiembre de 2016. Ver también Alex Wood, "Algorithmic Management Consequences for Work Organisation and Working Conditions", N° 2021/07, European Commission JRC Technical Report, Working Papers Series on Labour, Education, and Technology, 2021.

[27] Ver Daron Acemoglu (ed.), *Redesigning AI*, Cambridge, MA: MIT Press, 2021.

y responsables, sino que se colectivicen realmente como servicios públicos (como sugirió Fredric Jameson, entre otros), o que sean reemplazadas por alternativas públicas (como propuso Nick Srnicek).[28] Pero ¿cuál sería una manera diferente de diseñar esas alternativas?

Como sugiere la teoría de la automatización de este libro, cualquier tecnología y aparato institucional, incluida la IA, es una cristalización de un proceso social productivo. Surgen problemas porque dicha cristalización "osifica" y reitera estructuras, jerarquías y desigualdades pasadas. Para criticar y deconstruir artefactos complejos como los monopolios de IA, primero debemos realizar un trabajo meticuloso de *deconexionismo*, y deshacer —paso a paso, archivo por archivo, conjunto de datos por conjunto de datos, metadatos por metadatos, correlación por correlación, patrón por patrón— el entramado social y económico que los constituye de origen. Este trabajo ya lo está llevando a cabo una nueva generación de académicos que están diseccionando la cadena de producción mundial de la IA, en especial los que emplean métodos de *investigación-acción*. Son dignos de destacar, entre muchos otros, la plataforma Turkopticon, fundada por Lilly Irani, usada para "interrumpir la invisibilidad del trabajador" en la plataforma de la economía de pequeños encargos Amazon Mechanical Turk; la investigación de los conjuntos de datos de entrenamiento para el reconocimiento facial realizada por Adam Harvey, que expuso las violaciones masivas de la privacidad de las empresas de IA y la investigación académica; o el trabajo del colectivo Politically Mathematics de India, que analizó el impacto económico de los modelos predictivos del Covid-19 sobre la población más pobre y recuperó las matemáticas como un espacio de lucha política (ver su manifiesto, citado al principio de esta conclusión).[29]

La teoría laboral de la automatización es un principio analítico para estudiar también el nuevo "ojo del amo" que representan los monopolios de IA. Sin embargo, precisamente por el énfasis en el proceso de trabajo y las relaciones sociales que constituyen los sistemas técnicos, es también un principio sintético y "sociogénico" (para usar el término programático de Frantz Fanon y Sylvia Wynter).[30] Lo que constituye el núcleo de la teoría laboral de la automatización

[28] Leigh Phillips y Michal Rozworski, *The People's Republic of Walmart: How the World's Biggest Corporations Are Laying the Foundation for Socialism*, London: Verso, 2019. Ver también Frederic Jameson, *Archaeologies of the Future: The Desire Called Utopia and Other Science Fictions*, London: Verso, 2005, 153n22; Nick Srnicek, Platform Capitalism, Cambridge: Polity Press, 2017, 128.

[29] Ver los sitios web turkopticon.net, exposing.ai y politicallymath.in.

[30] Sylvia Wynter, "Towards the Sociogenic Principle: Fanon, Identity, the Puzzle of Conscious Experience, and What It Is Like to Be 'Black'", *National Identities and Sociopolitical Changes in Latin America*, 2001: 30-66. Ver también Luciana Parisi, "Interactive Computation and Artificial Epistemologies", *Theory, Culture, and Society* 38, N°s 7-8 (octubre de 2021): 33-53.

es, en definitiva, una *práctica de autonomía social*. Las tecnologías solo pueden juzgarse, rebatirse, reapropiarse y reinventarse moviéndose en la matriz de las relaciones sociales que las constituyeron originalmente. Las tecnologías alternativas deberían *situarse* en esas relaciones sociales, de una manera no muy diferente de la adoptada por los movimientos cooperativos en los siglos pasados. Pero crear algoritmos alternativos no significa hacerlos más éticos. Por ejemplo, la propuesta de hacer una codificación rígida de normas éticas en la IA y los robots parece muy insuficiente e incompleta porque no aborda directamente la amplia función política de la automatización que está en su núcleo.[31]

Lo que se necesita no es ni tecnosolucionismo ni tecnopauperismo, sino una *cultura de la invención*, diseño y planificación que se preocupe por las comunidades y lo colectivo, sin renunciar a la capacidad de acción y a la inteligencia para dejarlas en manos de la automatización. El primer paso de la tecnopolítica no es tecnológico sino político. Tiene que ver con emancipar y descolonizar, y también con abolir en conjunto, la organización del trabajo y las relaciones sociales sobre las que se basan los sistemas técnicos complejos, los robots industriales y los algoritmos sociales, específicamente, su sistema salarial incorporado, los derechos de propiedad y la política identitaria. Las nuevas tecnologías para el trabajo y la sociedad solo pueden basarse en esta transformación política. Queda claro que este proceso no solo se despliega desarrollando conocimiento técnico sino también político. Uno de los efectos más problemáticos de la IA sobre la sociedad es su influencia epistemológica, la manera en que convierte la inteligencia en inteligencia de las máquinas y fomenta implícitamente el conocimiento como conocimiento procedimental. Sin embargo, el proyecto de una epistemología política para trascender a la IA tendrá que transmutar las formas históricas del pensamiento abstracto (matemático, mecánico, algorítmico y estadístico) e integrarlas como parte de la caja de herramientas del propio pensamiento crítico. Para enfrentar la epistemología de la IA y su régimen de extractivismo del conocimiento, tendremos que aprender una mentalidad técnica diferente, una "contrainteligencia" colectiva.

[31] Ver Frank Pasquale, *New Laws of Robotics: Defending Human Expertise in the Age of AI*, Cambridge, MA: Harvard University Press, 2020; Dan McQuillan, "People's Councils for Ethical Machine Learning", *Social Media+ Society* 4, N° 2, 2018.

Agradecimientos

Este libro está en deuda con un "filósofo colectivo" que contribuyó a su composición a lo largo de trayectorias multidimensionales. McKenzie Wark, de The New School de Nueva York, hace muchos años sugirió que iniciara este proyecto para Verso Books. Henning Schmidgen, de la Universidad de Weimar, me ayudó a ver, de una manera verdaderamente interdisciplinaria, el horizonte complejo del pensamiento que abarcan los estudios sobre ciencia y tecnología, la epistemología histórica, la filosofía francesa y los estudios de los medios de comunicación. Durante el último mes de redacción, Sascha Freyberg, del Instituto Max Planck para la Historia de la Ciencia, Berlín, intervino con generosidad para consolidar el manuscrito. Agradezco en especial a Sam Smith, corrector, y a George MacBeth y Patrick Riechert, de la Universidad de Artes y Diseño de Karlsruhe, que, con paciencia, revisaron mi inglés no nativo y mejoraron mi manera lineal de escribir.

Dentro de la comunidad de historiadores de la ciencia y la tecnología, me gustaría agradecer en particular a: Pietro Daniel Omodeo, Giulia Rispoli, Matthias Schemmel, Charles Wolfe y Senthil Babu, también al colectivo Politically Mathematics y al colectivo editorial Verum Factum. Doy las gracias especialmente a los estudiantes, colegas y antiguos alumnos de la Universidad de Artes y Diseño de Karlsruhe, al coloquio de doctorado y al grupo de investigación KIM sobre inteligencia artificial y filosofía de los medios de comunicación: Paolo Caffoni, Céline Condorelli, Alan Diaz, Ariana Dongus, Max Grünberg, Sami Khatib, Maya Indira Ganesh, Arif Kornweitz, James Langdon, Angela Melitopoulos, Simone Murru, Mariana Silva, Ana Teixeira Pinto y Füsun Türetken, con una mención especial a Bárbara Acevedo Strange, Sebastian Breu, Guillermo Collado Wilkins, Alex Estorick, Yannick Fritz, Vincent Herrmann, Nikos Patelis, Simon Knebl, Jason King, Lukas Rehm, Marco Schröder, Ben Seymour y Florian Walzel, por su ayuda técnica, gráfica y editorial.

Estoy en deuda con una comunidad internacional de estudiosos de la IA y los medios de comunicación con los que, en la última década, he colaborado

en numerosos proyectos: Jon Beller, Claude Draude, Orit Halpern, Adam Harvey, Leonardo Impett, Daniel Irrgang, Vladan Joler, Goda Klumbyte, Oleksiy Kuchansky, Noura Al Moubayed, Fabian Offert, Ranjodh Singh Dhaliwal, Susan Schuppli, Elena Vogman y Ben Tarnoff. Y por su amistad y apoyo: Marie-Luise Angerer, Alan Blackwell, Andreas Broeckmann, Johannes Bruder, Mercedes Bunz, Geoff Cox, Sean Cubitt, Jan Distelmeyer, Daphne Dragona, Paul Feigelfeld, Kristoffer Gansing, Francis Hunger, Joseph Lemelin, Dan McQuillan, Frieder Nake, Luciana Parisi, Jens Schröter y Andreas Sudmann; y en particular, Nina Franz, Rebekka Ladewig, Wolfgang Lefèvre, George Nagy, Simon Schaffer, Max Stadler, Siegfried Zielinski y Paolo Zellini.

Agradezco especialmente a los organizadores de la escuela de verano de Cambridge 2020-21 "Historias de la IA: Una genealogía del poder" [Histories of AI: A Genealogy of Power] —Sarah Dillon, Richard Staley, Syed Mustafa Ali, Stephanie Dick, Matthew L. Jones, y Jonnie Penn—, por la oportunidad de presentar y debatir mis ideas.

La "inteligencia política" sobre la que se basa este libro procede de un colectivo internacional de amigos y camaradas de toda la vida: Stefano Harney, Sandro Mezzadra, Toni Negri, Brett Neilson, Nikos Papastergiadis, Judith Revel, Tania Rispoli, Paolo Virno, Jamie Woodcock y Giovanna Zapperi, entre muchos otros. Por su apoyo a lo largo de todos estos años, agradezco a Marco Baravalle, Susana Caló, Manuel Disegni, Godofredo Pereira y Gerard Hanlon.

Gracias a *e-flux journal* (Julieta Aranda, Amal Issa, Brian Kuan Wood, Anton Vidokle) y a la Casa de las Culturas del Mundo [Haus der Kulturen der Welt] de Berlín (Anselm Franke, Bern Scherer) por su hospitalidad a lo largo de varios proyectos. Y entre los muchos amigos de la comunidad artística: Elena Agudio, Dorothee Albrecht, Marwa Arsanios, Defne Ayas, Sean Dockray, Gean Moreno, Fiona Geuss, Natasha Ginwala, Nathan Gray, Christoph Gurk, Tom Holert, Iman Issa, Sven Lütticken, Antonia Majaca, Agnieszka Polska, Johannes Paul Raether, Natascha Sadr Haghighian, Caleb Waldorf, Clemens von Wedemeyer y Khadija von Zinnenburg Carroll.

Este libro también reconoce a los compañeros, colegas y empleados de la Staatsbibliothek de Berlín, con quienes me crucé invisiblemente durante muchos años, manteniendo nuestro voto de silencio. Agradezco especialmente al personal de la biblioteca por su apoyo durante la pandemia del Covid-19. Este libro está dirigido sinceramente a todos los trabajadores fantasma, los repartidores en bicicleta, los conductores y los programadores de la economía de los pequeños encargos que están en primera línea de la división algorítmica del trabajo. La investigación de este libro se inició mucho antes de que naciera mi hijo Giotto y terminó mucho después. Fue posible, tanto en lo material como en lo maternal, gracias al amor y el cariño de Wietske en el campo de batalla de nuestro trajín doméstico. Por Giotto, Wietske y amigos, me aventuro en las salas de máquinas de estas abstracciones tecnológicas con la esperanza de evitar a todos la necesidad de aventuras alienantes similares en el futuro. Este libro está dedicado a mi madre, Anna, que tuvo la extraña idea de enseñarme a escribir y a contar antes de empezar la escuela. Fueron ejercicios adicionales a esas "matemáticas de la cocina" de la clase trabajadora los que, creo, cuatro décadas después, me llevaron a estudiar el progreso de estos amplios algoritmos sociales.

Lista de ilustraciones

1.1. Diagrama del altar del fuego del ritual Agnicayana. Frits Staal, "Greek and Vedic Geometry", *Journal of Indian Philosophy* 27, N° 1 (1999): 111 (imagen rotada). 29

1.2. La estructura reflexiva de la abstracción. Peter Damerow, *Abstraction and Representation*, Berlín: Springer, 2013, 379. 43

1.3. Alegoría de la aritmética. Gregor Reisch, Margarita Philosophica, 1503. 47

2.1. Esquema para la implementación del algoritmo de De Prony como división del trabajo. Lorraine Daston, "Calculation and the Division of Labor, 1750-1950", *Bulletin of the German Historical Institute* 62 (Primavera de 2018): 11 62

2.2. Diseño para la implementación del algoritmo de De Prony en un mecanismo. Charles Babbage, *On the Economy of Machinery and Manufactures*, London: Charles Knight, 1832, 161 65

2.3. La máquina diferencial de Babbage. Charles Babbage, Passages from the Life of a Philosopher, Londres: Longman, Roberts & Green, 1864, portada 66

4.1. William Heath, "La Marcha del Intelecto", circa 1828, grabado, British Museum 101

6.1. Esquema de neuronas artificiales. Warren McCulloch y Walter Pitts, "A Logical Calculus of the Ideas Immanent in Nervous Activity", *Bulletin of Mathematical Biophysics* 5, N° 4 (1943): 105 139

6.2. Brazo operador del constructor universal. John von Neumann, *Theory of Self-Reproducing Automata* (editado por Arthur Burks), Urbana, Il: University of Illinois Press, 1966, 371 145

6.3. Diagrama que muestra patrones de manchas y cálculos. Alan Turing, circa 1950. Hoja AMT/K3/8, Turing Archive, King's College Cambridge, particular 149

7.1. Diagrama del colículo superior del mesencéfalo. Warren McCulloch y Walter Pitts, "How We Know Universals: The Perception of Auditory and Visual Forms", *Bulletin of Mathematical Biophysics* 9, N° 3 (1947): 141 171
9.1. Ejemplos de clasificación de objetivos. Albert Murray, "Perceptron Applications in Photo Interpretation", *Photogrammetric Engineering* 27, N° 4 (1961): 633 210
9.2. Ejemplos de clasificación de objetivos. Albert Murray, "Perceptron Applications in Photo Interpretation", *Photogrammetric Engineering* 27, N° 4 (1961): 634 211
9.3. Mark I Perceptrón. Frank Rosenblatt, *Principles of Neurodynamics: Perceptrons and the Theory of Brain Mechanisms*, Buffalo, NY: Laboratorio Aeronáutico de Cornell, 1961, iii 212
9.4. Diagrama de la organización del Mark I Perceptrón. Frank Rosenblatt, *Mark I Perceptron Operators' Manual*. Buffalo, NY: Laboratorio Aeronáutico de Cornell, 1960, 4 213
9.5. Esquema del Perceptrón simple. Frank Rosenblatt, "Audio Signal Pattern Perception Device", patente de Estados Unidos US3287649A, 1963 (vencida en 1983) 216

El ojo del amo. Una historia social de la Inteligencia Artificial, de Matteo Pasquinelli, se terminó de imprimir en el mes de mayo de 2025, en los talleres de A Impresores S.A. Santiago de Chile. El tiraje fue de 5 500 ejemplares.

Estamos rodeados de historias sobre la amenaza de la IA para los puestos de trabajo, como si fuera un poder que acecha desde fuera y desde arriba. Este libro desafía radicalmente esa visión. El autor demuestra que el trabajo está en la raíz del desarrollo histórico de la IA. Relatos de expropiación y resistencia, automatización y lucha se entrecruzan en las páginas de este apasionante libro, que es al mismo tiempo un logro académico asombroso y un arma política para repensar la IA.

Sandro Mezzadra

Mientras los apóstoles y profetas de la IA proclaman un mundo utópico de control sin esfuerzo, así como la catástrofe de nuestra extinción, el trabajo dedicado e inteligente de Pasquinelli proporciona una visión crucial del pasado y futuro de los monopolios de la IA y sus consecuencias.

Simon Schaffer

PREMIO DEUTSCHER 2024

Si de un modo tal vez consuetudinario se describe a la IA como una solución que se encuentra en la lógica secreta de nuestra mente o en la fisiología profunda del cerebro y sus complejas redes neuronales, en *El ojo del amo* se argumenta, por el contrario, que el código interno de la IA no se configura imitando la inteligencia biológica, sino que se nutre de la inteligencia del trabajo y sus relaciones sociales. La idea de que la IA pueda algún día volverse autónoma es pura fantasía. Los algoritmos informáticos siempre han imitado la forma de las relaciones sociales y la organización del trabajo en su estructura interna, y su propósito sigue siendo la automatización ciega. Este libro invita a una nueva alfabetización sobre la IA para científicos, periodistas y nuevas generaciones de activistas que deberían reconocer que el misterio de la IA es solo la automatización del trabajo al más alto grado, no la inteligencia por sí misma.

www.fondodeculturaeconomica.cl

ISBN: 978-956-289-389-3